

Über Beziehungen zwischen dem Vorkommen von Osteochondrose im Fesselgelenk sowie der Halswirbelsäule und den funktionellen Besonderheiten betroffener Gelenke - Eine Untersuchung an rezentem Pferdeskelettmaterial

Von der Fakultät für Lebenswissenschaften

der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina

zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades einer

Doktorin der Naturwissenschaften

(Dr. rer. nat.)

genehmigte

D i s s e r t a t i o n

von Ilona Becker
aus Gifhorn

1. Referent:	Professor Dr. Miguel Vences
2. Referent:	apl. Professor Dr. Eberhard May
3. Referent:	Professor Dr. Martin Korte
eingereicht am:	01.09.2008
mündliche Prüfung (Disputation) am:	16.12.2008

Druckjahr 2009

Aysha

** 22.3.1995 in Craiova, Rumänien
† 28.10.2008 in Braunschweig*

Vorwort

*Geliebt zu werden von einem Pferd oder von einem anderen Tier
sollte uns mit Ehrfurcht erfüllen - denn verdient haben wir es nicht.*

(Marion C. Garetty 1917)

Als kleines Kind erlernte ich in einem ländlichen Reitstall den ersten Umgang mit dem Pferd. Dort gab es neben Schulpferden eine Stute, die einem privaten Besitzer gehörte. Diese Stute hieß Olala und hatte neben dem Brandzeichen am Hinterschenkel auch eines am Hals. Unser damaliger junger und sehr engagierter Reitlehrer gab uns auch theoretischen Unterricht. Dabei erfuhr ich, dass das Brandzeichen am Hals ihre Zulassung als Zuchtstute kennzeichnet. Sie gehörte sogar einer prämierten Kategorie der Zuchtstuten an.

Ohne damals genauer zu wissen, warum, beobachtete ich bei der Stute einen wunderbaren schwungvollen Bewegungsablauf. Außerdem sah ich, dass ihr Gebäude sich anders gestaltete, als das der Schulpferde. Von diesem Moment an galt der Entwicklung in der Pferdezucht mein Interesse. Die Reiterei war nicht mehr mein Hauptanliegen, sondern sie gehörte lediglich dazu.

Wer hätte gedacht, dass meine eigene wissenschaftliche Arbeit mich eines Tages zwingen würde, genau dieses Gebäude und diesen Bewegungsablauf kritisch zu betrachten? Bisher unbekannte Ansichten der Osteochondrose an freipräparierten Pferdeknochen wiesen mir diesen Weg und zeigten, dass die „Dunkelziffer“ der betroffenen Pferde höher ist, als bislang angenommen. Auch Ergebnisse anderer Arbeiten, in meine Betrachtungen integriert, deuten auf einen Zusammenhang von Bewegungsablauf und Gebäude mit der Osteochondrose hin.

Der bislang gegangene Weg in der Pferdezucht war eine logische Folge des Anspruches der Käufer. Ein Pferd ohne raumgreifenden, schwungvollen Bewegungsablauf lässt sich heute nicht mehr vermarkten. Diese Errungenschaften vieler Jahrzehnte sollen hiermit keineswegs in Frage gestellt werden.

Aber auch Untersuchungen anderer Wissenschaftler deuten an, dass bei Selektion gegen die Osteochondrose der Zuchtfortschritt, der mit dem Bewegungsablauf zusammenhängen dürfte, geringer würde. Das ist nicht unbedingt die Auskunft, die gewünscht wird.

Einige Züchter glauben zu wissen, dass es Pferde gibt, die einen ansprechenden Bewegungsablauf haben und dennoch skelettgesund sind. „Das sind oftmals nicht die Pferde, die auf Schauen, an der Hand vorgeführt, beim ersten Antritt sofort schwingen. Diese Pferde zeigen erst unter dem Reiter ihr volles Bewegungsspektrum“.

In der Erkennung gesunder, bewegungsstarker Tiere und der genauen Formulierung ihrer Lauf- und Gebäudeeigenschaften läge eine große Chance für die Zukunft, den Käufer weiterhin zufrieden zu stellen und dabei gesunde Pferde zu vermarkten.

Egal aber, welcher Weg weiterhin gegangen wird, irgendwann wird es unumgänglich sein, sich bei dem Thema Osteochondrose dem Zuchtziel kritisch zu stellen.

Es war mir ein großes Anliegen, dass die Arbeit in großen Teilen von jedem Pferdeinteressierten verstanden werden kann. Aus diesem Grund sind einige Lehrbuchinhalte integriert, die dem Leser die Zuhilfenahme gleich mehrerer Lehrbücher ersparen.

Braunschweig, im Januar 2009

Inhalt

1. Einleitung	1
1.1. Darstellung am reinen Knochen	1
1.2. Entwicklung des Themas	1
1.3. Gründe für die Knochenauswahl	2
2. Grundbegriffe	4
2.1. Grundzüge der Evolution	4
2.2. Anpassung an eine effektive Lokomotion	7
2.3. 6000 Jahre Einwirkung des Menschen auf das Pferd	9
2.4. Das Pferdeskelett	11
2.5. Lagebezeichnungen am Pferdeskelett	12
2.6. Knochen und seine Variabilität	13
2.7. Knochenwachstum	15
2.8. Enchondrale Ossifikation	16
2.9. Gelenke	17
2.10. Arthrose	20
2.11. Osteochondrose	22
2.12. „Spat“	25
2.13. Spinale Ataxie	28
3. Material und Methoden	29
3.1. Die Knochen und deren Herkunft	29
3.2. Präparation	30
3.3. Die Materialaufnahme und -verarbeitung	33
4. Die Fesselgelenke	34
4.1. Grundlagen	34
4.1.1. Die Knochen des Fesselgelenkes	34
4.1.2. Die Metapodien	36
4.1.3. Die Metapodien – unterschiedliche Formen der Vorder- und Hinterhand	40
4.1.4. Die Sesamabina bilden eine Gleitrinne	41
4.1.5. Die Phalanx I	42
4.1.6. Federschwingungen der Gliedmaßen sind entscheidend für den Wert des Pferdes	44
4.1.7. Das Fesselbein ist einer der gefährdetsten Knochen beim Pferd	51
4.1.8. Unterschiedliche Belastungszonen der Gelenkflächen des Fesselgelenkes	52
4.2. Ergebnisse	54
4.2.1. Befundtypen	54
4.2.1.1. Metacarpus	54
4.2.1.2. Metatarsus	55
4.2.1.3. Phalanges	55
4.2.2. Befunde	56
4.2.2.1. Metacarpus	56
4.2.2.2. Metatarsus	59
4.2.2.3. Phalanges	62
4.2.3. Befundauswertung	67
4.2.3.1. Osteochondrale Schäden in der Sagittalrinne der Phalangen – Übereinstimmungen zwischen linker und rechter Gliedmaße	68

4.2.3.2. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metapodien – Übereinstimmungen zwischen linker und rechter Gliedmaße	70
4.2.3.3. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metapodien und in der Sagittalrinne der Phalangen – Zusammengehörigkeit beider Befunde	72
4.2.3.4. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metapodien – Übereinstimmung der Vorder- und Hintergliedmaßen	75
4.2.3.5. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm und Läsionen neben diesen Strukturen – Zusammenhänge	76
4.2.3.6. Osteochondrale Schäden neben dem Sagittalkamm/ der Sagittalrinne – Zusammenhänge zwischen Phalangen und Metapodien	80
4.2.3.7. Osteochondrale Schäden neben der Sagittalrinne – Zusammenhänge zwischen linken und rechten Phalangen	82
4.2.3.8. Osteochondrale Schäden neben dem Sagittalkamm/ der Sagittalrinne – Zusammenhänge zwischen vorderen und hinteren Gliedmaßen	84
4.2.3.9. Osteochondrose der Halswirbel und osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metapodien/ in der Sagittalrinne der Phalangen – Zusammenhänge zwischen weit auseinanderliegenden Läsionsorten	86
4.2.3.10. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metatarsen/ in der Sagittalrinne der hinteren Phalangen und Lipping-Erscheinungen dorsal an der Facies articularis proximalis der Metatarsen – Zusammenhänge	87
4.2.3.11. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metacarpen in Abhängigkeit von der Länge der Metacarpen	88
4.2.3.12. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metacarpen in Abhängigkeit vom Längenbreiten-Index	89
4.3. Diskussion	90
4.3.1. Die Befunde dorsodistal am Sagittalkamm könnten eine Vorstufe zu Dissekatoren sein	90
4.3.2. Die tatsächliche Osteochondrose-Häufigkeit liegt über den Angaben aus röntgenologischen Studien	91
4.3.3. Ein Riss in der Sagittalrinne der Phalangen ist mit dem klassischen Befund dorsodistal am Sagittalkamm gekoppelt	92
4.3.4. Der klassische Osteochondrose-Befund dorsodistal am Sagittalkamm der Metapodien kann ein Produkt von Überbelastungen sein	93
4.3.5. Kleinere Pferde haben bessere Chancen auf gesunde Fesselgelenke	95
4.3.6. Schlanke, leichte Fohlen federn besser und haben häufiger Osteochondrose im Fesselgelenk	96
4.3.7. Federungsmechanismus bei anderen Tieren	97
4.3.8. Osteochondrose im Fesselgelenk und „Spat“ – mögliche Zusammenhänge	98
4.3.9. Genetik als Pseudo-Ursache	100
4.3.10. Beidseitige Defekte im Sagittalebereich des Fesselgelenkes – ein Beweis für die Abhängigkeit vom Gebäude	102
4.3.11. Das Fesselgelenk der Hintergliedmaßen ist stärker belastet	103
4.3.12. Schäden neben dem Sagittalkamm der Metapodien könnten auf „Ausnahme-Druckmaxima“ zurückzuführen sein	105
4.3.13. Randexostosen im Fesselgelenk sind in der Nähe von Druckmaxima zu finden und häufen sich medial	106
5. Die Halswirbelsäulen	107
5.1. Grundlagen	107
5.1.1. Knochen der Halswirbelsäule	107

5.1.2. Die Halswirbelsäule und deren Besonderheiten	112
5.1.3. Verbindungen der Halswirbelsäule mit der Vordergliedmaße	114
5.1.4. Einwirkungen der modernen Pferdezucht auf die Halswirbelsäule	115
5.1.5. Halswirbel klinisch unauffälliger Pferde (Mechlenburg 1967)	117
5.2. Ergebnisse	118
5.2.1. Befundtypen	118
5.2.2. Befunde	122
5.2.3. Befundauswertung	126
5.2.3.1. Klinisch auffällige und unauffällige Tiere – Vergleich der Abweichungen	128
5.2.3.2. Die Halswirbelgelenke - bevorzugte Läsionsorte aller Befundtypen	131
5.2.3.3. Die Halswirbelgelenke – bevorzugte Läsionsorte der verschiedenen Befundtypen	132
5.2.3.4. Die cranialen und caudalen Facies der Wirbel - bevorzugte Läsionsorte verschiedener Befundtypen	137
5.2.3.5. Lipping der Facies articulares lateral und medial – bevorzugter Läsionsort	142
5.2.3.6. Abhängigkeit vom Alter	143
5.2.3.7. Abhängigkeit von der Länge der Halswirbelsäule	144
5.2.3.8. Abhängigkeit von der Länge und dem Längenbreitenindex des Metacarpus	145
5.3. Diskussion	147
5.3.1. Vergleich zu Pferden aus Ausgrabungen	147
5.3.2. Osteochondrose als mögliche Hauptursache	148
5.3.3. Bevorzugte Läsionsorte durch Belastungen	149
5.3.4. Zusammenhänge mit Größe, Halslänge, Breitwüchsigkeit und Alter	153
5.3.5. Wirtschaftlicher Nutzen weiterer Untersuchungen	155
6. Typen der Facies articularis proximalis der Metapodien	156
6.1. Grundlagen	156
6.1.1. Lage der Gelenkflächen im Pferdekörper	157
6.1.2. Gelenkflächenvariationen beim Menschen (May 1985b)	158
6.1.3. Versuch zur Form der Gelenkflächen (Fick 1921)	160
6.2. Ergebnisse	162
6.2.1. Flächentypen der Facies articularis proximalis des Metacarpus	162
6.2.2. Flächentypen der Facies articularis proximalis des Metatarsus	165
6.2.3. Flächentypen der Metapodien in Abhängigkeit von der Länge	167
6.3. Diskussion	172
6.3.1. Die Gelenkflächen sind ein Abbild der Bedingungen des Pferdegebäudes	172
6.3.2. Größe und Abwinkelung bewirken Teilungen von Gelenkflächen	173
6.3.3. Zusammenhang mit „modernen“ Gelenkproblemen	174
7. Strukturen auf den Gelenkflächen	175
7.1. Grundlagen	175
7.1.1. Eine zufällig erzeugte Sicht auf die Gelenkflächen	175
7.1.2. Die Zonen des reinen Gelenkknorpels	176
7.1.3. Die verkalkten Zonen	178
7.2. Ergebnisse	179
7.2.1. Foto-Dokumentation	179
7.2.2. Die Auffälligkeiten	185
7.3. Diskussion	187

8. Die Griffelbeinsynostosierung	189
8.1. Grundlagen	189
8.2. Ergebnisse	191
8.3. Diskussion	193
9. Druckspuren an den Facies articularis distalis der Metapodien	194
9.1. Ergebnisse	194
9.2. Diskussion	194
10. Unterschiedliche Ausprägung der Trochlea medial und lateral	195
10.1. Grundlagen	195
10.2. Ergebnisse	196
10.3. Diskussion	198
11. Die Messdaten	199
11.1. Grundlagen	199
11.1.1. Messstrecken	200
11.2. Ergebnisse	203
11.2.1. Metacarpus	203
11.2.2. Metatarsus	204
11.2.3. Phalanx anterior	205
11.2.4. Phalanx posterior	206
11.2.5. Physiologische Längen der Halswirbel	207
11.2.6. Detaillierte Maße am C4	208
11.3. Auswertung	209
11.3.1. Errechnete Widerristhöhen	209
11.3.2. Längen-Breiten-Index (LBI)	210
12. Schlussbetrachtung	212
13. Zusammenfassung	219
14. Summary	222
15. Literatur	225
16. Danksagung	234

1. Einleitung

1.1. Darstellung am reinen Knochen

Die Osteochondrose des Fesselgelenkes, die spinale Ataxie und zu früh im Pferdeleben vorkommende Arthrosen verursachen wirtschaftliche Einbußen in der Pferdezucht. Noch immer können die eigentlich auslösenden Faktoren nicht klar identifiziert werden. Die mazerierten, also völlig frei präparierten Knochen der Fesselgelenke und der Halswirbelsäulen einer zufälligen Auswahl an Schlachtpferden bieten an dieser Stelle nach vielen bisherigen Untersuchungen zu diesen Themen, die meist auf Röntgenaufnahmen basieren, neue Darstellungen dieser Erkrankungen. Auffälligkeiten an verschiedenen Stellen im Pferdekörper sind klar und unverfälscht erkennbar und können in Zusammenhang gebracht werden.

1.2. Entwicklung des Themas

Die Bearbeitung von 42 ca. 1200 Jahre alten Pferdeskeletten aus einem Gräberfeld in Rullstorf bei Lüneburg hat mich vom Jahr 2001 bis 2003 beschäftigt. Die erste Hälfte der Skelette war Bestandteil meiner Diplomarbeit. Wenn derartige Arbeiten in Auftrag gegeben werden, interessiert dabei das Alter, das Geschlecht, die Größe, der Pferdetypus (z.B. Vollblut) und besonders die Nutzungsrichtung der Tiere. Da eine sehr intensive Reitpferdenutzung ihre Spuren am Skelett hinterlässt, ist eine intensive Suche nach Abweichungen an den Knochen von der Norm, die eventuell pathologisch sein können, erforderlich.

Ich bin selber mit Pferdebegeisterung und im Kontakt mit der hiesigen Warmblutzucht aufgewachsen und habe das auch so beibehalten. So bin ich mit den Problemen vertraut, die ein Züchter hat, wenn das von ihm gezogene Pferd im Falle eines Verkaufs die obligatorische Röntgenuntersuchung nicht besteht. Nicht selten habe ich Fälle kennen gelernt, in denen das Pferd schon vor Erreichen des einsatzfähigen Alters aufgrund von Erkrankungen am Skelett getötet wurde, da sich eine weitere Aufzucht nicht lohnte.

So ist es zu erklären, dass ich bei den Pferdeskeletten aus der Ausgrabung auch nach pathologischen Veränderungen gesucht habe, wie sie mir bei den heutigen Pferden bekannt sind. Neben den altersüblichen Verschleißerkrankungen des Skelettes waren Erkrankungen, die schon bei jungen Pferden der heutigen Zeit zu Ausfällen führen, nur sehr geringfügig

auszumachen. Sicherlich hat sich die Gestalt des Pferdes in 1200 Jahren dahingehend geändert, dass wir ein reitbequemes, leistungsstarkes Pferd haben. Und schon lange vor Entstehen der organisierten Zucht wusste man um Eigenschaften, die ein solches Pferd mit sich bringen musste. Bringt ein gezieltes Herauszüchten von erwünschten Eigenschaften Nachteile für den Skelettabbau mit sich? Wenn dem so sein sollte, kann der alte Reiterspruch: „Wer da scheuet Spat und Gall (Gelenkerkrankungen s.u.), hat nie ein gutes Pferd im Stall“ ein Stück Wahrheit in sich tragen.

Was hat sich also geändert, dass in der heutigen Zeit schon junge Pferde irreversible Schäden am Skelett aufweisen? Es sind mittlerweile zwar Faktoren bekannt, die das Schadensausmaß forcieren können. Dennoch hat man den eigentlich auslösenden Faktor bisher nicht gefunden. Somit war die Idee geboren, die reinen Knochen von heutigen Pferden aus Schlachtungen auf das Vorhandensein und das Erscheinungsbild von Skelettschäden zu untersuchen.

1.3. Gründe für die Knochenauswahl

Es wurden gezielt die Metapodien und Phalanges I ausgewählt (Mittelhand- und Mittelfußknochen sowie Fesselbeine). Diese Knochen bilden neben den Sesambeinen das Fesselgelenk, das das Gewicht des Pferdes und den hinzukommenden Schub in der Bewegung abfängt. Zudem wird mir durch den täglichen Kontakt zu Pferden eine sehr starke, federnde Beweglichkeit des Fesselgelenkes vor Augen geführt, die möglicherweise eine zusätzliche Belastung darstellen könnte. So sind bei diesen Knochen zumindest an den am Fesselgelenk beteiligten Teilen Skelettanomalien zu erwarten. An dieser Stelle ist neben üblichen Arthrosen (Definition Kap. 2.10. , S. 20 ff.) besonders die Osteochondrose (Definition Kap. 2.11. , S. 22) von Interesse.

Die Metapodien der Hintergliedmaßen, die Metatarsen (Mittelfußknochen) grenzen außerdem an das Sprunggelenk. Vom Sprunggelenk ist mir aus der Arbeit an den Pferdeknochen aus Ausgrabungen als auch aus der heutigen Praxis bekannt, dass es eine Schwachstelle bei heutigen und „historischen“ Pferden ist, an der es frühzeitig zu Schäden kommen kann. Demnach ist bei den Metapodien nicht nur im Bereich des Fesselgelenkes, sondern auch bei den Teilen, die dem Sprunggelenk angehören, das Vorkommen von Abweichungen von der Norm wahrscheinlich. Hier ist die Spat-Erkrankung häufig zu finden (Definition Kap. 2.12. , S. 25 ff.).

Im Kontakt zu einem der beiden Schlachter, von denen Knochen bezogen wurden, war schnell klar, dass spezielle Bewegungsstörungen des Pferdes auch eine häufige

Abgangsursache bei jungen Pferden darstellen. Nach Auskunft des Schlachters, von Kindheit an in diesem Familienbetrieb, habe die Anzahl der Pferde mit diesem Abgangsgrund in den vergangenen Jahrzehnten stetig zugenommen. Als mögliche Auslöser gelten Fehlbildungen der Halswirbel. Es war klar, dass nun auch an den Halswirbeln mein Interesse geweckt wurde. Besonders mögliche Ähnlichkeiten zu den Schäden an den Pferdebeinen interessierten mich, besonders da es sich auch hier um eine „moderne“ Erkrankung handeln könnte. Deswegen wurden auch einige Halswirbelsäulen von an dieser Bewegungsstörung erkrankten und nicht erkrankten Tieren präpariert. Bei der dazugehörigen Erkrankung handelt es sich um die spinale Ataxie (Definition Kap. 2.13. , S. 28 ff.).

2. Grundbegriffe

2.1. Grundzüge der Evolution

Vor 55 Mio. Jahren existierte ein hasengroßes Wesen in Europa und Nordamerika. Das Tier hatte bereits eine längere spezielle Evolution hinter sich und es ist noch ungeklärt, woher es stammte. Es hatte einen gewölbten Rücken und die huftragenden Zehen waren an den Vorderbeinen auf vier, an den Hinterbeinen auf drei reduziert. Ein Laufen auf den Zehenspitzen mit Hilfe von Sohlenpolstern im palmaren Bereich gilt als sicher (Franzen 2007). Das Tier lebte im Wald und fraß größtenteils Blätter. Die Prämolaren waren noch nicht molarisiert und die Backenzähne bestanden aus einfachen Höckerzähnen (Abb. 2.1). Es handelt sich um das *Hyracotherium* (auch oft *Eohippus* genannt). In Eurasien starben nach einer Diversifizierung in sehr viele Arten (bei dem hohem Ausmaß spricht man auch von Radiation) diese Vorfahren der Pferde vor Ende des Eozäns (vor 34 Mio. Jahren) aus. Entsprechend ist das Oligozän (vor 34 bis 23 Mio. Jahren) in Europa und Asien „pferdefrei“ (Abb. 2.1).

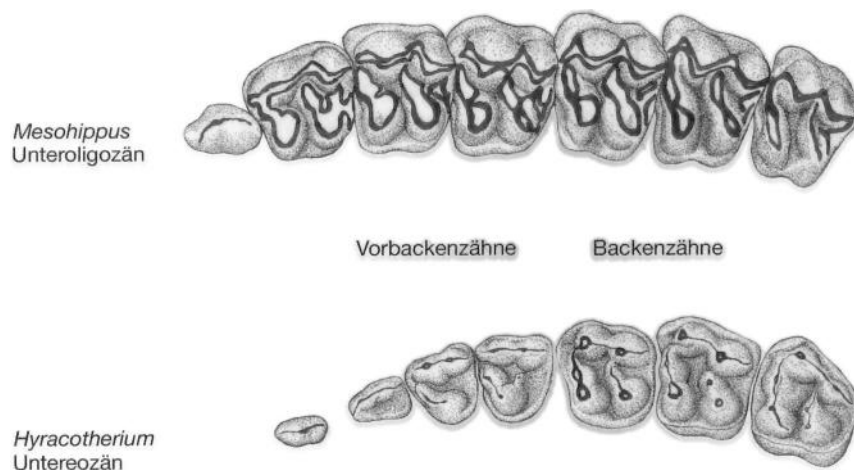


Abb. 2.1: Entwicklung des Pferdegebisses (nach Franzen 2007).

Das Gebiss des *Hyracotheriums* verfügte über einfache Höckerzähne, die nur wenige scharfe Kanten zum Verreiben härterer Nahrung besaßen. Die Prämolaren (Vorbackenzähne) sind noch deutlich kleiner als die Molaren (Backenzähne). Anders ist die Lage beim ca. 20 Mio. Jahre später erscheinenden *Mesohippus*. Hier sind die Prämolaren den Molaren in Größe und Gestalt ähnlich. Außerdem handelt es sich nun um Jochzähne, mit deren stark gefalteten Schmelzkanten auch härtere Nahrung zermahlen werden kann.

In Nordamerika ging die Evolution weiter. Hier erscheint im Oligozän, vor ca. 33 Mio. Jahren, das schäferhundgroße *Mesohippus*. Bei ihm waren die Prämolaren nun den Molaren ähnlicher (Abb. 2.1). Scharfe Schmelzkanten auf den Backenzähnen, die höher aus dem Zahn ragen, können abriebfördernde Nahrung wie Gras besser zermahlen. Eine Zunahme der Schmelzfältelung schafft zudem noch mehr scharfe Kanten. Längere Beine, ein längerer Hals und Gesichtsschädel und eine geringere Rückenkrümmung lassen das heutige Pferd errahnen. Dieses Tier hatte hinten und vorne 3 Zehen; die vierte Zehe der Vorderbeine ist nur noch rudimentär vorhanden. Es ernährte sich von festeren Pflanzenteilen. Zu Beginn des Miozäns (vor 23 Mio. Jahren) erfolgte eine Ausbreitung über die Behring-Verbindung nach Europa und Asien.

Die Evolution des Pferdes erlebte in Amerika vor 15 Mio. Jahren eine starke Diversifizierung (Abb. 2.2). Hierfür wird die Entwicklung von Grasländern in Vermischung mit Waldgebieten verantwortlich gemacht. Es entstanden Arten, die laub- und fruchtessend waren, neben anderen Arten, die Gras fraßen. Hierbei kam ihnen die Anlage, das zellulosereiche Gras durch Enzyme zu verdauen, die von im Blinddarm lebenden Bakterien erzeugt werden, zugute. Es waren Arten dabei, die erstmals auf nur einem Huf pro Bein liefen (Franzen 2007).

Gegen Ende des Miozäns (vor 5,2 Mio. Jahren) wanderten Hipparionen in mindestens 2 Wellen über die zeitweise vorhandene Behringstraße nach Europa ein. Sie gelangten schließlich bis nach Afrika und Asien. Dennoch gibt es keine direkte Linie von den Hipparionen zu *Equus*.

Equus entwickelte sich aus einer der schon einhufigen Arten, dem zunächst in Nordamerika lebenden *Dinohippus*. Vor 5 Mio. Jahren kam *Equus* allmählich nach Asien, Europa und Afrika sowie Südamerika.

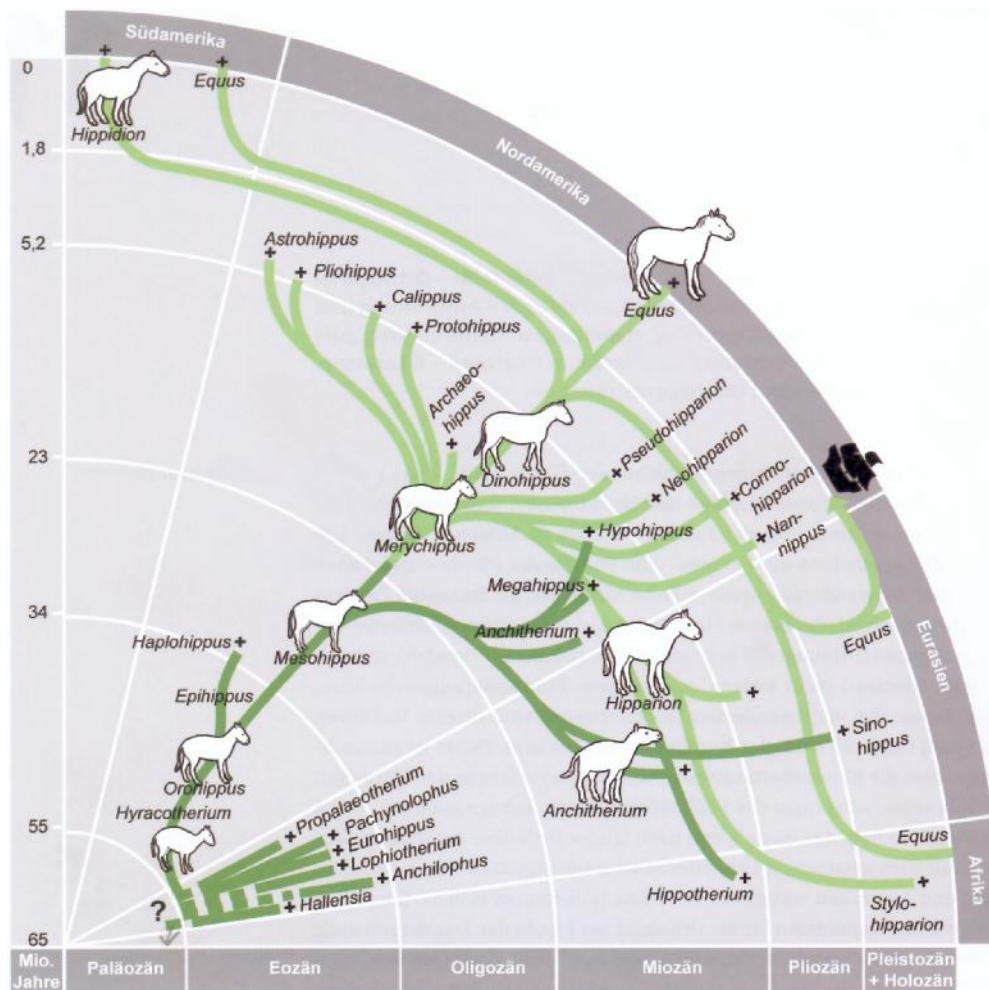


Abb. 2.2: Vereinfachter Stammbaum der Pferde (Erstentwurf Thenius 1969, Umgestaltung MacFadden 2005, modifiziert von Franzen 2007).

Am Ende der jüngsten Eiszeit, also vor etwa 10.000 Jahren, starben alle Pferde Nordamerikas aus. Die Gründe dafür werden beim Menschen gesucht. Allerdings spricht auch einiges für eine klimatische Begründung, da auch andere Großsäuger wie Mammute, Kamele und Riesenfaultiere verschwanden. Erst im 16. Jahrhundert wurden Pferde durch die Spanier in Nordamerika wieder eingeführt.

Zur Gattung *Equus* gehören heute das Hauspferd (*Equus caballus*), das Zebra (*Equus burchelli*), der Esel (*Equus asinus*) und der Halbesel oder Onager (*Equus hemionus*). Sie werden zusammen mit Tapiren und Nashörnern in die Ordnung der unpaarzehigen Huftiere (Perissodactyla) gestellt. Ihre weitere Einordnung in das Tierreich erfolgt über die Überordnung der Plazentatiere (Euplacentalia), die Unterklasse der lebendgebärenden Säugetiere (Theria), die Klasse der Säugetiere (Mammalia), die Überklasse der Landwirbeltiere (Tetrapoda) zu den Wirbeltieren (Vertebrata).

2.2. Anpassung an eine effektive Lokomotion

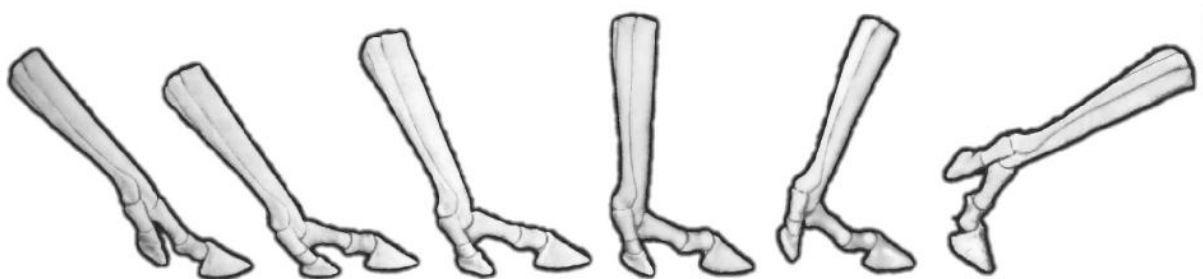
Das Pferd ist im Laufe der Evolution zu einem Laufspezialisten geworden. Die Verlängerung der Beine hat eine größere Schrittweite zur Folge. Damit allein ist die Spezialisierung allerdings nicht abgeschlossen.

Betrachtet man die Beine als Pendel, so kann man sich vorstellen, dass die Masse der Beine verringert werden musste, da sie die Trägheit am Ende des Pendels erhöhte (Franzen 2007), und dadurch zusätzliche Energie beim Bewegen der Beine verbrauchte. Aus diesem Grund befinden sich am unteren Ende der Beine keine Muskelpakete. Sie sind weitgehend durch Sehnen ersetzt, deren Muskeln sich hauptsächlich am Rumpf befinden. Diese Muskeln wirken hauptsächlich an den Drehachsen des Schulter- und Beckengelenkes, sind sehr ausgeprägt und bilden starke Antriebsmotoren für die Bewegung der Beine. Die Sehnen an den Gliedmaßen sind im Verlaufe der Evolution zu Transmissionsriemen geworden.

Durch eine immer weiter voranschreitende Stabilisierung der Sehnen, die zum 3. Strahl führen, war es möglich, zum Zehenspitzenwandler zu werden, was auch noch zur Verlängerung des Beines beitrug.

Es gilt als sicher, dass ein Sohlenpolster im palmaren Bereich der Fußsohle, wie es bei den Tapiren noch heute vorkommt, zunächst bei dem Aufstellen auf die Zehen behilflich war (Franzen 2007).

Eine Konzentration auf den mittleren Strahl (Fingerglied III) trug zur weiteren Lastreduktion des Beines bei. Die Seitenzehen, die zunächst noch bei Überdehnung in Extremsituationen zum Einsatz kamen (Abb. 2.3), wurden überflüssig. Sie sind bei den heutigen Pferden nur noch rudimentär in Form der Griffelbeine zu erkennen.



*Abb. 2.3: Bewegungsablauf eines Pferdes mit drei Zehen (nach Tobien 1952, modifiziert).
Der Vorläufer unseres Pferdes hatte noch drei behufte Zehen. Erst, als die Sehnen und Bänder kräftig genug wurden, bei starker Einfederung das Fesselgelenk nicht zu sehr absacken zu lassen, wurden die beiden seitlichen Zehen II und IV als Stützen überflüssig. Heute züchtet man eher unbewusst wieder Pferde, die stark absacken können. Sie sind „weich zu sitzen“ und geben dem Bewegungsablauf eine sehr schwingendes Bild. Nur die seitlichen Stützen sind nicht mehr da.*

Auch die Knochen Elle und Speiche (Radius und Ulna) sowie Schienbein und Wadenbein (Tibia und Fibula) zeigen eine Anpassung an ein effektives Laufen. Jeweils beide Knochen sind nötig, um seitliche Drehbewegungen durchzuführen. Diese möglichen Drehbewegungen hätten die Vorwärtsbewegung verlangsamt. So wurden die Speiche und das Wadenbein extrem zurückgebildet, was die Bewegungsrichtung auf vorwärts fixiert. Es ist keine extra Kraft mehr nötig, um Seitwärts-Bewegungen zu vermeiden. Diese Konstruktion ist bei einem Fluchttier, das längere Strecken in höherem Tempo zurücklegen muss, energiesparend und bewirkt so eine größere Ausdauer.

Der Entwicklungsprozess, der sich auf die Gliedmaßen bezieht, ist nicht nur auf den Übergang vom Wald- zum Steppenleben beschränkt. Er erfolgte während des gesamten Zeitraumes, in dem Pferde fossil belegbar sind.

2.3. 6000 Jahre Einwirkung des Menschen auf das Pferd

Bislang hatte man archäologische Beweise für die Domestikation von Pferden wie Abnutzungsspuren am Gebiss oder die Verwendung als Grabbeigabe, die etwa 6000 Jahre alt sind (Benecke 1994). Neue Erkenntnisse erbrachte eine Untersuchung der mitochondrialen DNA von rezenten 191 domestizierten Pferden (Vilá et al. 2001).

Die Mitochondrien werden nur über die Mutter vererbt und so ist die molekulare Evolution einfacher zurück zu verfolgen als bei den Chromosomen des Zellkerns, deren DNA sich kontinuierlich durch den mütterlich und väterlich vererbten Anteil vermischt. Zudem wird die DNA während jeder Meiose (Zellteilung zur Bildung von Keimzellen) neu rekombiniert.

Hätte die Domestikation nur an einem Ort der Welt stattgefunden und wären alle heutigen Pferde auf diese erstmals domestizierten Pferde zurückzuführen, so müsste bei allen rezenten Pferden eine starke Ähnlichkeit vorhanden sein und somit die genetische Diversität geringer sein als bei den wilden Vertretern aus Ausgrabungen.

Die 191 rezenten, genetisch untersuchten Pferde stammten aus völlig unterschiedlichen Züchtungen und Regionen. Deren genetische Diversität ist genau so groß wie diejenige bei nicht domestizierten Wildpferden aus Ausgrabungen. Vergleichbare Untersuchungen an Rindern, Schweinen und Schafen zeigen dagegen eine geringe Vielfalt gegenüber ihren wilden Verwandten. Entsprechend kann bei diesen Tieren eine kleine Ausgangsgruppe angenommen werden. Bei den Pferden muss es sich um verschiedene Ausgangsgruppen handeln (Vilá et al. 2001).

Damit kann die bisherige Annahme allerdings nicht widerlegt werden, dass die Domestikation der Pferde in den Steppen Asiens ihren Ursprung habe. Allerdings befand sich hier keine ausschließliche Ursprungsgruppe für unsere Hauspferde. Wahrscheinlich haben sich nicht die domestizierten Pferde ausgebreitet, sondern die Kenntnis um deren Domestikation (Vilá et al. 2001).

Die DNA der Mitochondrien verändert sich im Laufe der Zeit durch Mutation und deren populationsgenetische Fixierung. Die Mutationsereignisse sind in ihrer statistischen Häufigkeit bekannt, so dass auch eine zeitliche Zurückverfolgung stattfinden kann. Unter Berücksichtigung der Domestikationszeit konnte mit Hilfe der genetischen Diversität herausgefunden werden, dass im Laufe der Geschichte an geographisch verschiedenen Orten

ein Minimum von 77 Stuten hatte domestiziert werden müssen (Jansen et al. 2002).

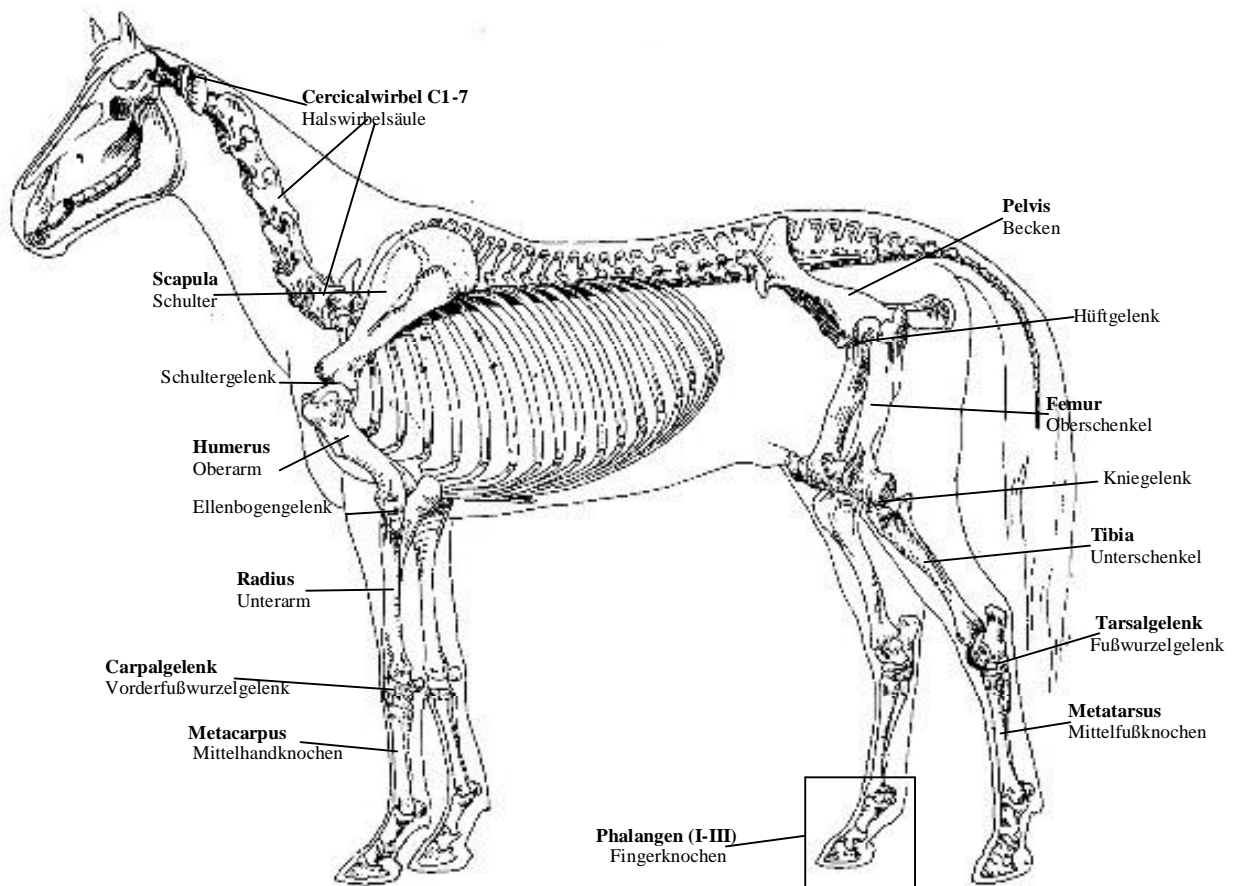
Mit der Domestikation dürfte der Mensch schon Einfluss auf das Aussehen des Pferdes genommen haben. Allein die Kastration ist eine züchterische Einwirkung auf die Pferdepopulation. Dadurch werden bestimmte Hengste von der Fortpflanzung ausgeschlossen. Gewünschte Hengsttypen können sich reproduzieren. Außerdem hat die Kastration meistens den gewünschten Nebeneffekt, den Hengst für den Menschen umgänglicher zu machen. Archäologische Funde belegen die Kenntnis um die Kastration seit dem frühen Neolithikum an Rindern, Schafen und Schweinen, später auch an Pferden (Benecke 1994). Bereits so lange dürfte die züchterische Einwirkung des Menschen bestehen, die durch abgegrenzte Haltung und gezielte Anpaarung forciert werden konnte. Schon lange bevor es die ersten offiziellen Zuchten mit dazugehörigen Zuchtbüchern gab (oft erst im 20. Jahrhundert), konnte so auf die Eigenschaften der Tiere eingewirkt werden.

Eine gezielte Rassezucht lässt sich erst seit dem frühen Mittelalter erkennen. Der Araber gilt als die älteste herausgezüchtete Rasse (Benecke 1994), was sich anhand schriftlicher Quellen belegen lässt. Kaltblüter sind aus dem 15. und 16. Jahrhundert bekannt.

Der Araber wurde seit dem Mittelalter zur Veredelung einheimischer Rassen nach Europa importiert. Der Englische Vollblüter, gezielt auf die Rennleistung ausgerichtet, wird seit dem 14. Jahrhundert gezüchtet. Auch er wird zur Veredelung von Warmblutrassen verwendet. Zu den Warmblutrassen, die die typischen Turnierpferde darstellen, gehören z.B. der Hannoveraner, Trakehner, Westfalen, Holsteiner, Oldenburger. Sie haben nach dem 2. Weltkrieg, als die Verwendung allmählich in den ausschließlichen Reitsport übergang, ihren Typ gewandelt. Aus dem eher schweren, auch für die Landwirtschaft geeigneten Pferd wurde durch Einkreuzung von Arabern und Vollblütern ein leichteres Pferd. Die Grundgangarten wurden derart für den Reitsport optimiert, dass die Tiere den größtmöglichen Raumgriff haben und extrem weich gefedert sind. Daraus resultieren schwungvolle Bewegungen und ein bequemes Sitzen des Reiters, was vom Markt verlangt wird. Auch die im Turniersport eingesetzten Ponyrassen wie z.B. das Deutsche Reitpony, Connemara und New Forest stehen den Großpferderassen mit ihrem Bewegungsablauf kaum noch nach. Dies gilt insbesondere für das Deutsche Reitpony. Aber z.B. auch der ehemals recht schwere und robuste Haflinger ist in eine leichte und bewegungsstarke Form gebracht worden.

Das Dülmener Pferd, die Exmoor Ponies, die Przewalski Pferde und die zurückgezüchteten Steppentarpäne sind die wenigen noch urtümlich wirkenden Pferderassen (Franzen 2007).

2.4. Das Pferdeskelett



*Abb. 2.4: Pferdeskelett (nach Ellenberger und Baum 1943, modifiziert) mit den für diese Arbeit wichtigen Langknochen und Gelenken. Der Ausschnitt (Phalangen I-III) ist in Abb. 4.2 detailliert zu sehen.
Fett gedruckte Bezeichnungen entsprechen der lateinischen Terminologie.*

2.5. Lagebezeichnungen am Pferdeskelett

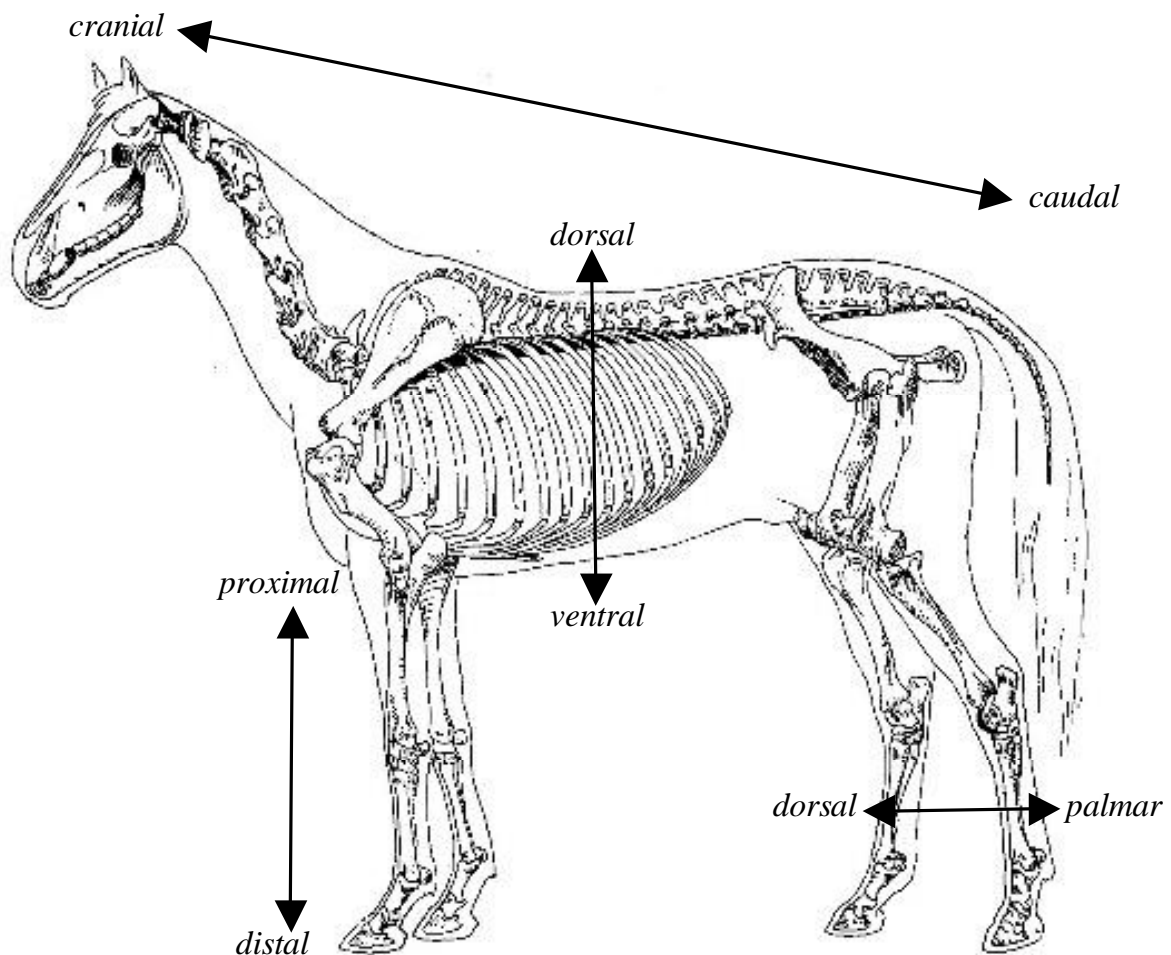


Abb. 2.5: Richtungsangaben für die Lagebezeichnungen im Pferdekörper und auf den verschiedenen Knochenelementen (Skelett nach Ellenberger und Baum 1943, modifiziert).

Diese Richtungsangaben sind u.a. nötig, um an Knochen beschreiben zu können, wo sich Besonderheiten befinden oder aus welcher Richtung eine Abbildung einen Knochen darstellt. dorsal: von oben auf den Körper blickend (man stellt sich die Gliedmaßen zum Kopfhin angewinkelt vor), palmar: von unten auf den Körper blickend, proximal: zum Körper hin, distal: vom Körper weg, ventral: zum Bauch hin, cranial: zum Kopfhin, caudal: zum Schweif hin

2.6. Knochen und seine Variabilität

Bei Knochensubstanz handelt es sich um lebendes Gewebe, das keineswegs etwa wie die tragenden Elemente eines Gebäudes seine Form, einmal angenommen, beibehält, sondern Wandlungen in Abhängigkeit von der Beanspruchung sowie Alterungsprozessen unterworfen ist (Krämer 1996).

Allein schon die Form eines Knochens zeigt, welchen Zug- oder auch Druckkräften er standhalten muss.

Eine Scapula erscheint eher scheibenartig. Durch den Platz im Pferdekörper greifen Zugkräfte in Richtung Hals, Widerrist, Rumpf, Rippen und zum Pferdebein an. So ist an dieser Stelle ein flächig ausgezogener Knochen sinnvoll, da in fast alle Richtungen Kräfte wirken. Je nach Tierart variiert die Form der Scapula etwas. Dies ist ein Zeichen der etwas unterschiedlichen mechanischen Beanspruchungen der Tierarten (Müller 1967).

Ein Metacarpus wird von proximal und distal wirkenden Kräften beansprucht und nimmt in der Bewegung große Teile der Lasten auf. Durch seine lange Form ist er ein wichtiges Glied im an ein raumgreifendes Laufvermögen angepassten langen Bein des Pferdes. So ist dieser Knochen lang und besitzt eine sehr viel kompaktere Knochensubstanz als die Scapula (Abb. 2.6).



Abb. 2.6: Scapula und Metacarpus im Vergleich. Das Scapulafragment ist leider nur unvollständig erhalten. Dennoch ist ihre überaus flächige Ausdehnung im Vergleich zum Metacarpus erkennbar. Während an die Scapula Zugkräfte in fast alle Richtungen angreifen, wirken auf den Metacarpus nur Kräfte in proximodistale Richtungen. Nach distal nimmt die gewichtstragende Funktion der Scapula zu, die Zugkräfte konzentrieren sich mehr auf die Verbindungen zu den sich distal befindlichen Knochen der Vordergliedmaße. Deswegen führte die stammesgeschichtliche Entwicklung zu einer Scapula, die am distalen Teil vermehrt kompakte Knochensubstanz besitzt.

Aus der Wandlungsfähigkeit von Knochengewebe selbst ergibt sich schon ein Blutgefäßsystem, das den Knochen durchziehen muss, um die für die An-, Um- und Abbauten notwendigen Stofftransporte zu gewährleisten und die hormon- und vitaminabhängigen Regulationsmechanismen des Knochenstoffwechsels aufrecht zu halten.

Hauptbestandteile des Knochens sind Kollagenfasern, in die Kalksalze eingelagert sind. Je nach Beanspruchung kann der Knochen durch Substanzaufbau an Stellen, die großen Kräften standhalten müssen, verstärkt werden. An Stellen, die weniger beansprucht werden, kann ebenso Substanz abgebaut werden.

Liegen wiederholte Belastungen vor, denen der Knochen nicht standhalten kann, entstehen frühzeitig im Leben eines Individuums Schäden.

2.7. Knochenwachstum

Der Knochen gliedert sich in die Diaphyse, die den stabilen und mit reichlich kompakter Knochensubstanz versehenen Schaft des Knochens darstellt. An den jeweiligen Enden schließen sich die Epiphysen an. Mehr im Knocheninnern ist im Gegensatz zur kompakten Knochensubstanz die Spongiosa, eine sich in lockerer Struktur befindliche Knochenformation zu finden.

Die Epiphysen stellen mit ihrem Gelenkknorpel die Verbindungen zu weiteren Knochen des Körpers dar. Während des noch unabgeschlossenen Wachstums ist in der Epiphyse der epiphyseale Knochenkern vorhanden. Die Substanz um diesen Knochenkern befindet sich noch in den verschiedenen Knorpelstadien der enchondralen Ossifikation (Abb. 2.7 und Abb. 2.8).

Der Knochen ist bis auf die Zonen des Gelenkknorpels mit der Knochenhaut (Periost) umgeben. Darunter befindet sich die perichondrale Knochenmanschette, auf deren Grundlage das Dickenwachstum abläuft.

In der Epiphysenfuge wird über Knorpelstadien als Zwischenstufe Knochensubstanz gebildet, die dem Längenwachstum dient.

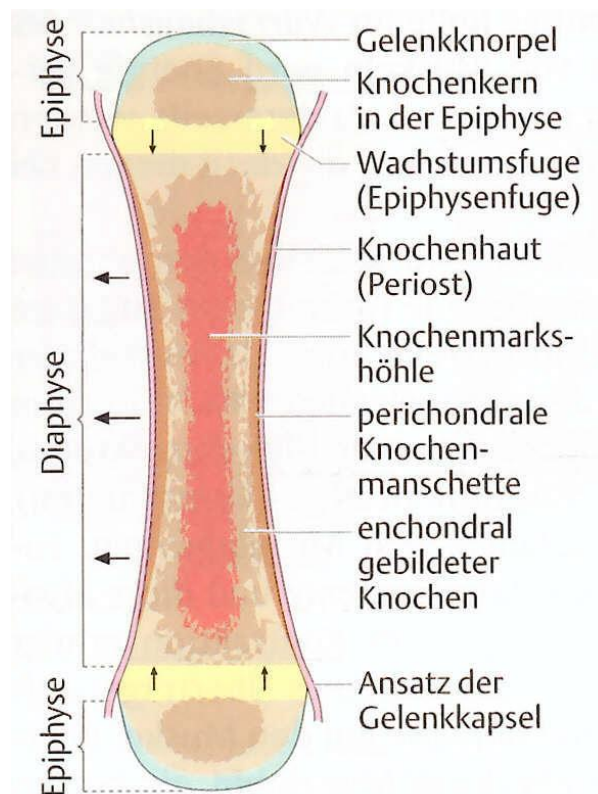


Abb. 2.7: Entwicklung eines Röhrenknochens (nach Faller 1999).

2.8. Enchondrale Ossifikation

Die enchondrale Ossifikation beginnt damit, dass sich Chondrozyten (Knorpelzellen) im Bereich der Epiphysenfuge und in den Epiphysen selber stark vergrößern. Diese stark vergrößerten Chondrozyten werden unter Hinterlassung von Lakunen von Chondroklasten weggeräumt. In diese Lakunen wandern Blutgefäße und Zellen, die sich weiter zu Osteoblasten (Zellen zur Knochenbildung) differenzieren, ein.

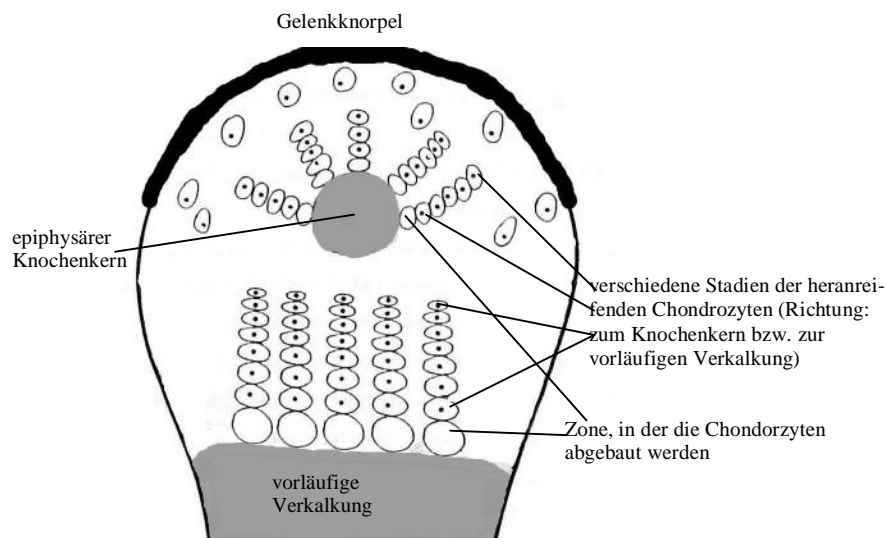


Abb. 2.8: Enchondrale Ossifikation (nach Iannotti 1990, modifiziert).

Innerhalb der Epiphysenfuge mit den verschiedenen Knorpelzellstadien gibt es die Zone der hypertrophierenden (Vergrößerung des Zellvolumens) Chondrozyten, die durch Blutgefäße nicht erreicht wird und nur durch Diffusion ernährt werden kann. In einem nicht vorgesehenen Bestehenbleiben dieser Chondrozyten durch eine Unterbrechung der Erreichbarkeit könnte die Begründung für Defekte wie der Osteochondrose (Kap. 2.11. , S. 22 ff.) liegen (Auer, v. Rechenberg 1999).

2.9. Gelenke

Gelenke sind Stellen, an denen zwei oder in manchen Fällen auch mehrere Knochen aneinander stoßen und flexible Verbindungen eingehen. Weniger beweglich sind unechte Gelenke (Synarthrosen), bei denen die Knochen durch Bindegewebe oder Knorpel miteinander verbunden sind. Dies ist z.B. bei den großen Wirbelgelenken der Fall, die durch Bandscheiben verbunden sind.

Die echten Gelenke (Diarthrosen) sind beweglichere Verbindungen und für das Fortbewegen eines Individuums mit Hilfe der durch die Muskulatur erzeugten Kräfte nötig.

Ganz besonders die Gelenke der Gliedmaßen erfüllen die Funktion von Hebeln (z.B. Schulter- oder Hüftgelenk). Über diese Hebel wird die Bewegung des Individuums erzeugt. Auch alle weiteren Gelenke im Körper, die geringeren Hebelwirkungen unterliegen, werden trotzdem durch das Bewegen von Knochen gegeneinander besonderen Belastungen ausgesetzt. Bei zunehmender Hebel- und Gewichtsbelastung wird dieser Effekt verstärkt. Deswegen sind die miteinander artikulierenden Flächen (Gelenk = Articulatio) anders als der übrige Knochen ausgestattet.

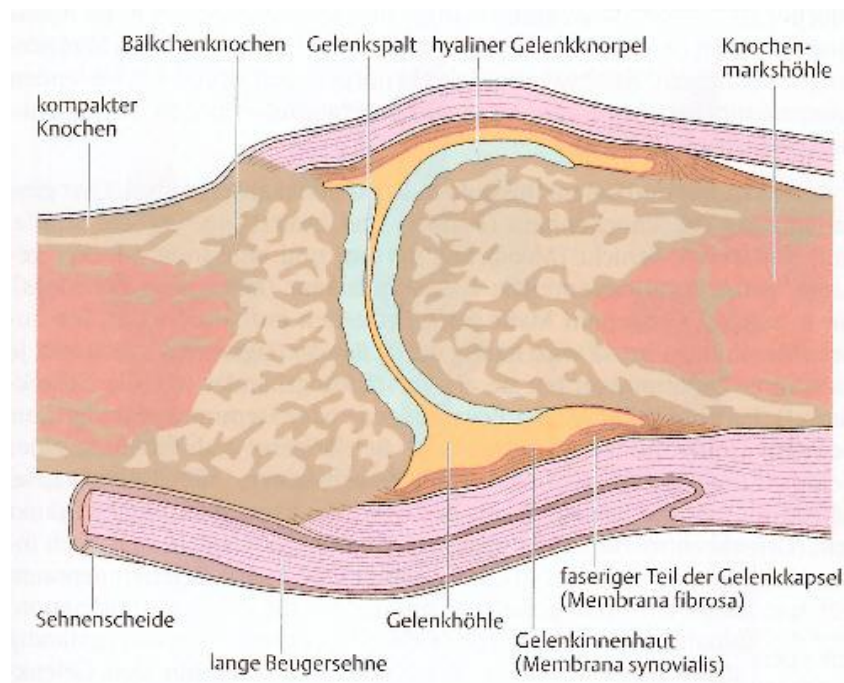


Abb. 2.9: Aufbau eines Gelenkes (nach Faller 1999).

Die artikulierenden Flächen zweier Knochen eines echten Gelenkes sind von hyalinem Knorpel (Knorpel, der eine besonders gute Stoßdämpferfunktion besitzt) bedeckt (Abb. 2.9 und Abb. 2.8). Er selbst besitzt keine Blutgefäße und muss durch Diffusion von der Synovia (Gelenkflüssigkeit in dem Raum zwischen den Knorpelflächen) ernährt werden. Die Synovia wiederum erfährt ihre Versorgung über die blutgefäßreiche Membrana synovialis, die durch Zotten in den Gelenkraum einen optimalen Stoffaustausch gewährleisten kann. Für die Versorgung des Knorpels ist regelmäßige Be- und Entlastung nötig, da nur so Synovia in diesen hineingepresst werden kann.

In seiner Funktion als Stoßdämpfer unterliegt der Knorpel großen Belastungen und ist, einmal verschlissen, nicht mehr regenerationsfähig. Bewegungsmangel und Missverhältnisse zwischen Belastung und Belastbarkeit führen zu degenerativen Gelenkerkrankungen (Krämer 1996), die am zerstörten Knorpel ihren Ausgang nehmen und zu fortschreitenden Veränderungen am Knochen selbst führen, die irreversibel sind. Ein altersabhängiger Verschleiß, der zwangsläufig auch bei optimalen Lebensbedingungen vorkommen muss, ist aber normal.

Am freipräparierten Knochen, wie er in dieser Arbeit verwendet wird, ist der hyaline Knorpel nicht mehr vorhanden. Der darunter liegende Knochen zeichnet sich aber durch eine besondere Glattheit aus und ist als Facies (Gelenkfläche) erkennbar (Abb. 2.10).



Abb. 2.10: Os carpale III (einer von mehreren kleinen Handwurzelknochen) aus dem Vorderfußwurzelgelenk eines Esels.

Im grundsätzlichen Aufbau unterscheidet sich dieser Knochen nicht von dem homologen Element eines Pferdes. Zusammen mit sechs weiteren kleinen Knochen wird das zu dem menschlichen Handwurzelgelenk homologe Element gebildet. Deutlich kann man eine glatte Fläche erkennen, die ehemals mit hyalinem Knorpel überzogen war und eine mit einem anderen Knochen artikulierende Fläche bildete.

Schließlich wird die Gelenkhöhle von der blutgefäßreichen Membrana synovialis umschlossen, die entscheidend für die Versorgung des Gelenkes über die Synovia ist. Sie wird wiederum von der eher faserigen Membrana fibrosa umrahmt, die der Stabilität dient. Die Synovia ist eine dickflüssige Gelenkschmiere.

In direkter Nähe zu Gelenken sind Ansätze von Bändern und Sehnen gehäuft zu finden, weil an beweglichen Stellen stabilisierende Konstruktionen am wichtigsten sind.

2.10. Arthrose

Bei Arthrosen handelt es sich um degenerative (irreversible) Gelenkveränderungen nicht entzündlicher Natur, die eine Folge von Knorpelverschleiß sind. Bei jungen Individuen ist die Ursache üblicherweise in Fehl-, Unter- und Überbelastungen zu suchen. Auch eine anlagebedingte Arthrose ist möglich. Im fortgeschrittenen Alter hingegen gehört die Arthrose zu den natürlichen Prozessen (Krämer 1996).

Als Hauptursache werden wiederholte kleinere mechanische Traumen angesehen (Mohr 2000). Ein Trauma kann dabei eine sehr kleine Verletzung erzeugen, die bei ständiger Wiederholung Knorpel und auch den subchondralen (unter dem Knorpel liegenden) Knochen schädigt. Bei Fehlbelastungen und anlagebedingten Fehlstellungen, aber auch bei fehlgestalteten Gelenken (Gelenkdysplasien) bleiben durch ungleichmäßige Übertragung der Lasten auf die anliegenden Knochen ständige kleinere Traumen nicht aus. So spricht man bei solchen Abweichungen von der Norm auch von präarthrotischer Deformität (Mohr 2000, Krämer 1996), also von Verformungen, die eine Vorstufe der Arthrose darstellen.

Wirken nun ständige Belastungen auf ein Gelenk ein, kommt es zunächst zu einer Verschmälerung des Gelenkspaltes. Am Gelenkknorpel treten Schädigungen auf, die mikroskopisch in Form von Fissuren und Rissen nachweisbar sind (Mohr 2000). Der unter dem Knorpel liegende Knochen reagiert mit einer Verdichtung des Materials. Am Rand der Gelenkfläche kommt es zur Ausbildung von zusätzlichem Knochenmaterial (oft genannt Randexostosen, Randwülste). Anfangs sind die Ränder lippenartig ausgezogen und haben eine Tendenz, den anderen, am Gelenk beteiligten Knochen, zu überlappen. Daher existiert im Englischen der Begriff „lipping“ (Abb. 2.11).

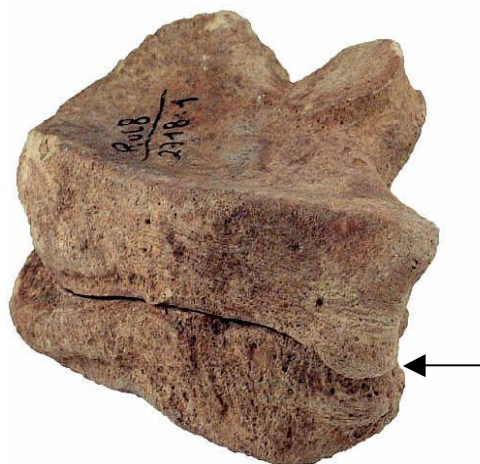


Abb. 2.11: „Lipping“ im Sprunggelenk eines Pferdes. Bei einem der kleinen Knochen aus dem Sprunggelenk dieses Pferdes aus einer Ausgrabung hat sich am Gelenkrand eine Wulst gebildet, die lippenartig ausgezogen ist und den anderen Knochen überlappt. Das englische „lipping“ umschreibt diese Erscheinung sehr passend, die prinzipiell in jedem Gelenk möglich ist.

In einem späteren Stadium kann das zusätzliche Knochenmaterial „blumenkohlartig“ aussehen (Abb. 2.12). Zu Beginn einer arthrotischen Erkrankung zeigt sich oft noch sehr lange Zeit eine „Steifheit“ der betroffenen Gelenke am Anfang der Bewegung; nach einigen Minuten hat sich das Pferd jedoch „eingelaufen“. Im weiteren Verlauf wird der Knorpel völlig zerstört und der Gelenkspalt verschmälert sich weiter. Das Gelenk wird noch unbeweglicher. In diesem Zustand sind Schmerzen vorhanden, die sich beim Pferd in Form einer deutlichen Lahmheit äußern. Ein „Einlaufen“, wie im Anfangsstadium, ist nicht mehr möglich. Schließlich können betroffene Gelenke auch völlig versteifen, weil die sich gegenüberliegenden Flächen über neues Knochenmaterial verwachsen. Dadurch wird die Schmerzfreiheit wiedererlangt; eine Steifheit bleibt.

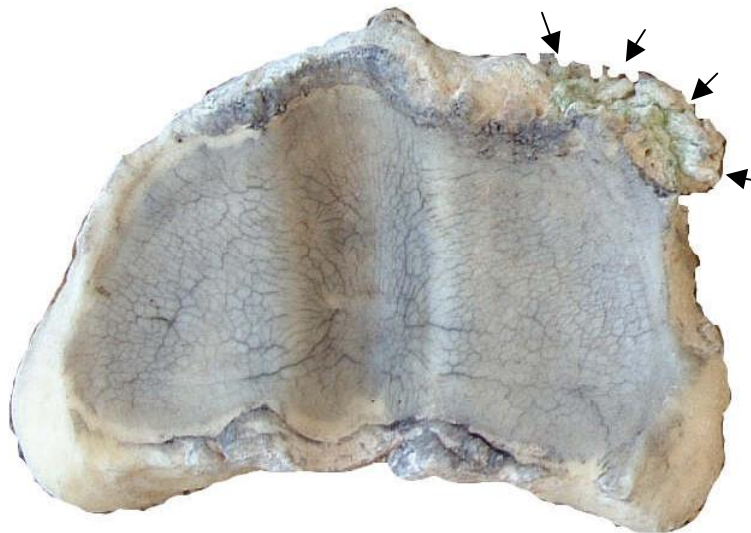


Abb. 2.12: Arthrose der proximalen Gelenkfläche der linken Phalanx I der Hintergliedmaße eines 20-jährigen Kaltblüters.

Deutlich sind die wulstigen Randexostosen, am stärksten ausgeprägt im mediodorsalen Bereich zu sehen (Pfeile). Im weiteren Verlauf der Erkrankung kann das Gelenk sogar komplett verschwinden und beide Knochen, die das Gelenk bilden, verwachsen miteinander. Ein Pferd wird in der Regel eliminiert, bevor dieser Zustand erreicht ist.

2.11. Osteochondrose

Die Osteochondrose (OC) ist eine Sonderform der Arthrose und ebenfalls irreparabel.

Dieses Krankheitsbild beschreibt Störungen der enchondralen Ossifikation des Knorpels (obligatorische Umwandlung des knorpeligen Vorskeletts in Knochen; Ablauf vor und auch nach der Geburt) und tritt vor allem an den Epiphysen (Wachstumsfugen, die zunächst knorpelig sind und erst nach Abschluss des Längenwachstums verknöchern) und Gelenkflächen auf (Auer, v. Rechenberg 1999) auf. Als Entstehungszeitpunkt muss daher vorrangig das Fohlenalter angesehen werden.

Für das Entstehen wird eine Störung in der Entwicklung der Knorpelzellen verantwortlich gemacht, die Zellen lagern kaum mineralische Knochensubstanz ein und verdicken. In betroffenen Arealen ist eine Störung der Blutgefäßversorgung nachgewiesen (Auer, v. Rechenberg 1999). Ein Entstehen von intaktem Knochen ist nicht mehr möglich (Abb. 2.13). So kann es in der Gelenkfläche oder auch in der Epiphysenfuge zu Unterbrechungen kommen. Ein Knorpel- und/oder Knochenstück separiert sich. Bei Zurückbleiben eines Knorpelstückes in der nach dem abgeschlossenen Längenwachstum verknöcherten ehemaligen Epiphysenfuge spricht man von einer enchondralen Knochenzyste.

Die Herauslösung eines solchen Knorpel- und/oder Knochenstücks aus einer Gelenkfläche unter Hinterlassung eines „Mausbettes“ stellt eine besondere Form der Osteochondrose, die Osteochondrosis dissecans (OCD), dar. Dieser Körper befindet sich dann als Arthrolith (Gelenkmaus) frei im Gelenk und kann durch Einklemmungserscheinungen Beschwerden verursachen. Durch die Reizung im Gelenk kommt es zu aseptischen Entzündungsprozessen, die mit einer vermehrten Ansammlung von Gelenkflüssigkeit (Gelenkgalle) einhergehen können.

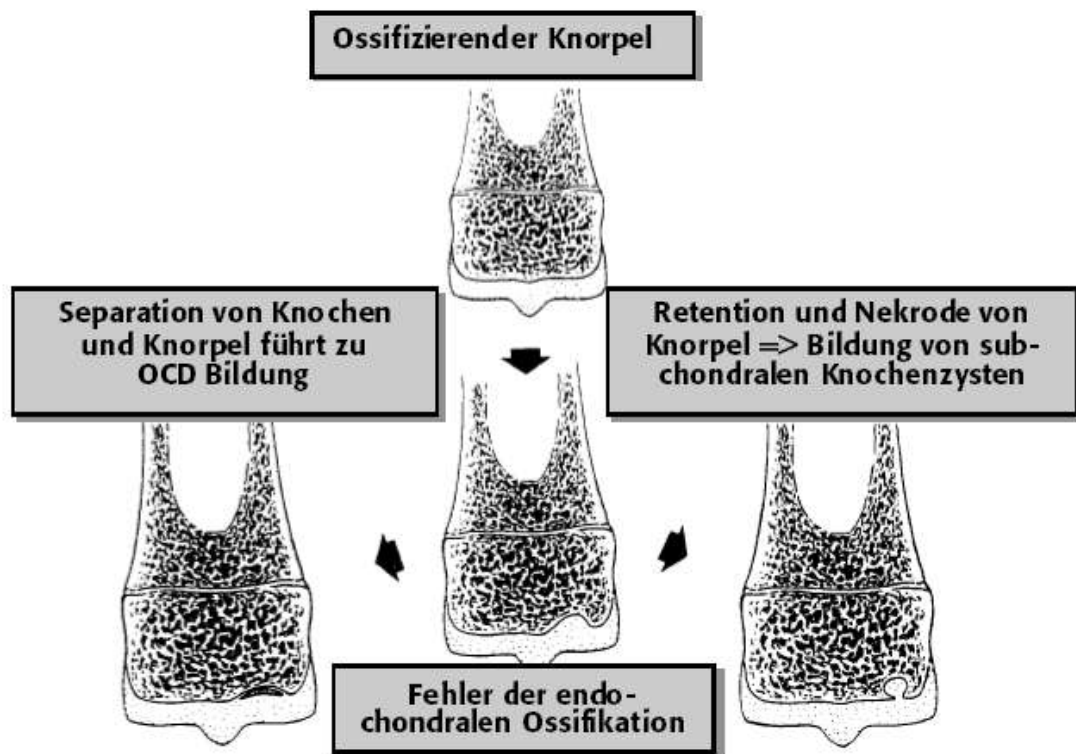


Abb. 2.13: Schema der Entstehung von Osteochondrose (nach Auer, v. Rechenberg 1999).

Am freipräparierten Knochen zeigt sich die Erkrankung in Form von Unterbrechungen der Gelenkflächen. Als präarthrotische Deformitäten (Krämer 1996) ziehen sie verfrühte Arthrosen nach sich, so dass das Bild am Knochen schon bei jungen Tieren mit Exostosen gekoppelt sein kann.

Gelenke, die von Osteochondrosen betroffen sind, können zunächst lange ihre Funktion erfüllen, bis dann schließlich vorzeitige Arthrosen oder Gelenkergüsse in Verbindung mit entzündlichen Erscheinungen den Anlass zu röntgendiagnostischen Maßnahmen liefern. Oft wird der primäre Auslöser, die Osteochondrose, erst dann entdeckt. Häufig kommt es aber auch im Falle einer Ankaufsuntersuchung zur Entdeckung osteochondraler Schäden.

Das Vorkommen ist bei vielen domestizierten Tieren (Olsson 1978) einschließlich dem Menschen (Mohr 2000) beschrieben. Jedoch gerade beim Reitpferd, bei dem ein tadelloser Bewegungsablauf gewünscht wird, ist diese Erkrankung von besonderer Bedeutung. Durch die intensive Ausnutzung des vollen Bewegungsspektrums beim Pferd sind Ausfälle in der Beweglichkeit betroffener Gelenke sofort erkennbar. Dies ist für den Wert und für das Weiterleben des Tieres entscheidend. Mittlerweile ist das Vorkommen so weit vorangeschritten, dass es sich zu einem Hauptproblem der Pferdeindustrie entwickelt hat (Jeffcott 2001).

Die Ursachen sind bislang immer noch nicht bis zum eigentlich auslösenden Faktor geklärt. Osteochondrosen konnten experimentell durch Scherkräfte erzeugt werden (Abb. 2.14).

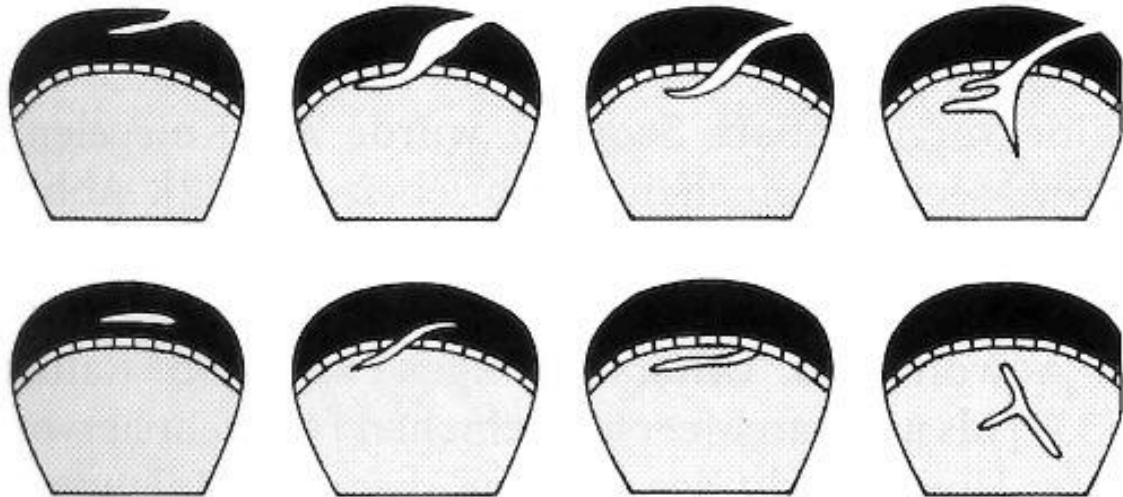


Abb. 2.14: Durch experimentelle Scherkräfte erzeugte osteochondrale Defekte (nach Tomatsu et al. 1992). Im Experiment lassen sich durch Scherkräfte Osteochondrosen erzeugen, die nur den Gelenkknorpel, aber auch den Knorpel und subchondralen Knochen als auch nur den Knochen betreffen können.

2.12. „Spat“

„Spat“ als Sonderform der Arthrose ist schon lange bekannt. Bereits der Stallmeister Kaiser Friedrichs des II kannte die Symptome (Zeller 1966). Es handelt sich um eine Erkrankung des Tarsalgelenkes (Sprunggelenk, siehe Abb. 2.4), die im Frühstadium mit Lipping-Erscheinungen (Abb. 2.11) und darauf mit einer Synostosierung (Zusammenwachsen) von Os tarsi centrale und Os tarsale tertium (kleine Knochen aus dem Sprunggelenk) ihren Ausgang nimmt. Später können die übrigen Tarsalia auch synostosieren. Dieser Vorgang führt zu einer fortschreitenden Versteifung der Sprunggelenke. Bei weit vorangeschrittenen Versteifungsprozessen im Sprunggelenk kann es zudem zu einer typischen Spatexostose (hinzugebaute Knochensubstanz) an der medialen Sprunggelenksfläche kommen.

Es existiert auch die Möglichkeit zu einer sehr sauberen Synostosierung, die nach Vollendung dieser Prozesse keine besonderen Nachteile für das Tier hat. Hier kann der Zustand der Schmerzfreiheit wiedererlangt werden. Es scheint sowieso fragwürdig, ob die Synostosierungsprozesse bei Spat grundsätzlich von Schmerzen begleitet sind oder ob eine leichte Lahmheit lediglich Ausdruck des Versteifungsprozesses ist.

Häufig kommen Ansätze zu „Spat“ auch schon bei jungen Pferden vor. Am häufigsten scheint eine gebäudebedingte Disposition vorzuliegen, die die Druckverhältnisse auf die ohnehin vom Grundprinzip schon stark belasteten Knochen Os tarsi centrale und Os tarsale III verstärkt (Abb. 2.15, Abb. 2.16). Durch eine starke Abwinkelung im Sprunggelenk wird das Gewicht des Pferdes, durch die im Trab und Galopp zu erzeugende Schubkraft nochmals verstärkt, in extremer Weise auf die erwähnten Knochen übertragen, die in jeder der Stützbeinphasen (Bewegungsphase, in der der Huf Bodenkontakt hat) die Hauptlast tragen. Jedoch auch ohne eine besonders starke Abwinkelung bleibt diese Stelle im Skelettsystem des Pferdes ein Schwachpunkt, der somit nicht ohne Grund sehr häufig Befunde aufweist. Hier sind im Alter am ehesten Arthrosen zu finden. Zudem federt das Sprunggelenk beim Pferd, was die Bedingungen zusätzlich noch verschärft. Darin dürfte auch der Grund für die Aussage (Uppenborn 1990) liegen, dass die Abwinkelung des Sprunggelenkes wegen möglicher Überbelastungen nicht zu stark ausfallen dürfe.

Besonders von Trabern sollte man eine leistungsstarke, gut abgewinkelte Hinterhand annehmen. Sie sollen mit der Hinterhand so weit wie möglich unter den Pferdekörper fußen können, sogar jeweils außen neben die Vorderhufe. Wären die gehäuften Spatbefunde bei Trabern allein auf die Art der Nutzung zurückzuführen, so fehlte die Erklärung dafür, dass bei 131 Trabern, die jung und noch völlig ungearbeitet waren, die Hälfte schon Spatbefunde aufwies (Hartung et al. 1978). Ein zu extrem abgewinkeltes Sprunggelenk dürfte eine entscheidende Rolle spielen.



Abb. 2.15: Lateralansicht des Tarsalgelenkes bei mittlerer Abwinkelung.

Es sind die wichtigsten gewichts- und belastungstragenden Teile zu sehen. Der Abwinkelungsgrad entspricht ungefähr demjenigen, der beim Aufsetzen im Trabe, also zu Beginn der Stützbeinphase genutzt wird. Die noch stärkeren Abwinkelungen, deren Möglichkeit an den Rollkämmen des Talus (→), der immer noch reichlich Spiel bietet, erkennbar ist, werden nur in der Hangbeinphase (Phase, in der der Huf den Boden nicht berührt) benötigt. Man denke sich die Last des Pferdekörpers (der Kopf wäre auf der linken Seite) sowie die Bewegung dessen hinzu. Die Hauptlast liegt in Gelenk auf der Seite des engen Winkels, also links.



Abb. 2.16: Lateralansicht des Tarsalgelenkes bei geringer Abwinkelung. Zur besseren Veranschaulichung sind einige sehr kleine, nicht gewichtstragende Knochen aus dem Tarsalgelenk weggelassen. Bei dieser Aufnahme befindet sich das Gelenk in der für dieses Individuum größtmöglichen Streckung, die immer noch eine Abwinkelung darstellt. Dieses Stadium wird unmittelbar nach der Stützbeinphase erreicht. Selbst unter Berücksichtigung, dass hier die Gelenkräume mit den dazugehörigen Knorpeln nicht mehr vorhanden sind, was vielleicht eine etwas stärkere Streckung bewirken könnte, wird deutlich, dass zu keinem einzigen Zeitpunkt wirklich eine Verlagerung der Hauptlast auf die palmaren (im Bild rechts) Gelenkbereiche stattfinden kann. Auch jetzt ist die Hauptlast im dorsalen (links, zum Kopf hin) Gelenkbereich (→). Die beiden flachen Knochen unterhalb des Pfeils sind diejenigen, die bei Spat als erstes arthrotisch werden und zusammenwachsen. Hier haben wir es mit einer Schwachstelle zu tun, die mit steigendem Nutzungsgrad um so stärker belastet wird. Auch eine innerhalb einer Rasse im Rahmen von Zuchtzielen verlangte natürliche starke Abwinkelung verstärkt die Spatneigung.



Abb. 2.17: Synostosierung von Os tarsi centrale und Os tarsale tertium, zweier Knochen aus dem Sprunggelenk. Links im Bild sind beide Knochen völlig normal und getrennt. Die Knochen rechts sind miteinander verwachsen (synostosiert). In Abb. 2.15 und Abb. 2.16 sind die Knochen unterhalb des Talus (Knochen mit den Rollkämmen zu finden).

2.13. Spinale Ataxie

Der Begriff Ataxie bezeichnet ataktische Bewegungen des Pferdes. Die Koordination ist gestört. Dies kann auf Fehlfunktionen des Gehirns, beim Pferd häufig des Kleinhirns (Cerebellum) zurückzuführen sein (cereballare Ataxie). Eine andere Ursache kann eine Einengung des Rückenmarks sein (spinale Ataxie). Diese Einengungen (Stenosen) können selbstverständlich immer verletzungsbedingt auftreten. Ein großes Problem der Pferde ist allerdings die nicht verletzungsbedingte spinale Ataxie, die bei jungen Tieren nach Meinung der für diese Arbeit frequentierten Rossschlachter die häufigste Abgangsursache bei jungen Pferden darstellt.

Betroffene Tiere zeigen einen unsicheren, ataktischen und taumelnden Gang. Besonders die Hintergliedmaßen sind betroffen. In fortgeschrittenen Stadien ist kaum noch ein Rückwärtsrichten des Tieres möglich und es kann zu Boden stürzen. In der Fachliteratur wird eine Fehlentwicklung der kleinen Wirbelgelenke in Erwägung gezogen. Besonders die Wirbel C3-C6 der Halswirbelsäule seien betroffen (Launer et al. 1999). Die Ätiologie bleibt bis heute ungeklärt.

Im englischsprachigen Raum wird die Symptomatik als Wobbler (wobble = wackeln, schwanken) Syndrome bezeichnet. Als eine genauere, eher auf die Ursache eingehende Namensgebung hat sich der Begriff „Cervical Stenotic Myelopathie (CSM)“ etabliert (Stewart et al. 1991, Moore et al. 1994). Die Stenosen können entweder ständig oder nur bei bestimmter Stellung des Halses auftreten. Die Begriffe „Cervical Dynamic Stenosis (CDS)“ und „Cervical Static Stenosis (CSS)“ spiegeln die beiden Möglichkeiten wieder.

3. Material und Methoden

3.1. Die Knochen und deren Herkunft

In die Untersuchung gehen Knochen von insgesamt 19 Tieren ein. 18 Tiere liefern Metapodien und Phalangen I sowie neun dieser Tiere zusätzlich die Halswirbel C2 bis C6, von dem weiteren Pferd stehen nur die Halswirbel zur Verfügung.

Das Material von 17 Individuen stammt von Pferden, die im Jahre 2004 geschlachtet wurden. Die Knochen von 2 weiteren Tieren kommen aus einer Ausgrabung und sind ca. 1300 Jahre alt (Tab. 3.1). Sie waren einst am anthropologischen Institut der TU Braunschweig bearbeitet worden (Bitzan, May 1990).

Die Körperteile der Schlachtpferde entstammen zwei verschiedenen Rossschlachtereien.

Schlachter A tötet die Tiere noch selber und nimmt entsprechend die Equidenpässe der Tiere an. Aufgrund vorheriger Kontakte war bekannt, dass er sich bei den Überbringern der Pferde nach der Abgangsursache erkundigt, wohl, da er auch selber Pferdehalter ist und somit auch ein gewisses Interesse an den Tieren hat. Von diesem Schlachter kommen die Teile der Tiere 1 bis 11, deren Abgangsursache nach Besitzerangaben bekannt ist und deren genaues Alter sowie Geschlecht und Abstammung durch die Equidenpässe belegt werden konnte. Es handelt sich bei diesen Pferden um einen Kaltblüter sowie zehn Individuen verschiedener deutscher Warmblutrassen. Bei den Tieren der Warmblutrassen erscheint eine genaue Rasseangabe nicht sinnvoll, da heutzutage Warmbluthengste Zulassungen für mehrere Zuchtverbände haben können. Somit sind deren Blutlinien in mehreren Rassen zu finden und die Warmblutrassen unterscheiden sich nicht mehr grundlegend.

Schlachter B bezieht die zur Lebensmittelgewinnung verwertbaren Körperteile aus einer Großschlachtereie. Er war so freundlich, auf seinen Frachtfahrten die Gliedmaßeanteile der Individuen 12 bis 17 mitzubringen. Von ihm kam lediglich Auskunft über die Zuordnung der Elemente zu den Individuen und die Angabe, dass es sich um Angehörige deutscher Warmblutrassen handelt.

3.2. Präparation

Die Präparation der Knochen von den 17 geschlachteten Pferden verfolgte lediglich den Zweck, letztlich ein von allen nicht-knochigen Bestandteilen befreites und einigermaßen geruchsfreies Präparat zu erhalten, den mazerierten Knochen. Aus diesem Grund erfolgte die Präparation nicht standardisiert und ein unterschiedliches Vorgehen ergab sich einfach aus zeitlichen Organisationsgründen. Für das ursprüngliche Anliegen dieser Arbeit wäre es nicht nötig, genauer auf die Freilegung der Knochen einzugehen, da die Angabe „mazerierter Knochen“ eindeutig ist. Dieses Ergebnis kann auf vielerlei Wegen erreicht werden und auch ohne Zutun des Menschen würde von einem toten Tier, je nach klimatischer Lage, irgendwann nur noch das Skelett vorhanden sein.

Da jedoch ein Zusammenhang zwischen unerwarteten Strukturen auf Gelenkflächen (Kap. 7. , S. 175 ff.) und den Variationen der Präparation nicht ausgeschlossen werden kann, werden die Vorgehensweisen an dieser Stelle beschrieben:



*Abb. 3.1: Gelenkknorpel, der bei der Präparation beseitigt wird.
Hier handelt es sich allerdings um das Gelenk eines Schafes, das für spätere Untersuchungen mit präpariert wurde.*

Die Gliedmaßen- und Wirbelsäulenteile aller Individuen wurden in Wasser eingelegt und eine Woche lang bei +35° inkubiert (Abb. 3.2, Abb. 3.3). Dabei verrotten alle nicht knöchigen Bestandteile, d.h. die Knochen sind mazeriert. Um nach Zerfallen in die verschiedenen

Knochenelemente eine Trennung der verschiedenen Individuen und auch Körperteile zu gewährleisten, waren sie in engmaschige Kunststoffsäckchen gelegt worden.



*Abb. 3.2: Inkubator zur Mazeration von Knochen.
In diesem Behälter werden Verwesungsprozesse, die auch in der Natur ablaufen würden, beschleunigt.*



*Abb. 3.3: Blick in den Inkubator.
In Kunststoffsäckchen für die Anlieferung von Pferdemitzen werden die zusammengehörenden Körperteile während der Mazeration eingebunden. So werden Verwechslungen durch Unordnung vermieden.*

Nach dem Ausheben der Knochen erfolgte eine gründliche Reinigung. Danach wurden sie eine halbe Stunde in Waschmittellösung gekocht und für etwa 2 Wochen in Seifenlauge zum Entfetten eingelegt.

Die Knochen der Individuen 1 bis 11 wurden wiederum in engmaschige Säckchen aus Kunststofffasern eingepackt und der Witterung im Winter für etwa 5 Monate ausgesetzt.

Die Knochen der Individuen 12 bis 17 wurden nochmals eine $\frac{3}{4}$ Stunde in Salzwasser gekocht. Das Ergebnis ist in beiden Fällen ein weitgehend geruchsfreies Knochenpräparat, das von allen fleischigen und knorpeligen Bestandteilen befreit ist.

Pferd	Geschlecht	Alter	Abgangsursache	Typ	ant. li.	ant. re.	post. li.	post. re.	HWS
1	♂	3	Ataxie	Warmblut	x	x	x	x	x
2	♀	14	Arthrose	Warmblut	x	x	x	x	
3	♂	3	Ataxie	Warmblut	x	x	x	x	
4	♂	11	Lahmheit	Warmblut	x	x	x	x	
5	♀	5	Ataxie	Warmblut	x	x	x	x	x
6	♀	15	Wirtschaft	Warmblut	x	x	x	x	x
7	♀	13	ohne Angabe	Warmblut	x	x	x	x	x
8	♂	20	Alter, Arthrose	Kaltblut	x	x	x	x	x
9	♂	3	Ataxie	Warmblut	x	x	x	x	x
10	♂	3	Lahmheit	Warmblut					x
11	♂	2	Ataxie	Warmblut	x	x		x	x
12	n.b.	n.b.	n.b.	Warmblut		x			
13	n.b.	n.b.	n.b.	Warmblut			x		
14	n.b.	n.b.	n.b.	Warmblut			x	x	
15	n.b.	n.b.	n.b.	Warmblut			x	x	
16	n.b.	n.b.	n.b.	Warmblut	x	x	x	x	
17	n.b.	n.b.	n.b.	Warmblut	x	x	x	x	
LO	♂	6-7	Gräberfeld	Alamanne	x	x*	x	x	x
KT36	♂	5-6	Gräberfeld	Alamanne	x	x	x	x	x**

Tab. 3.1: Untersuchungsmaterial.

Die Individuen sind mit ihrem Geschlecht, Alter, Abgangsursache und Rassenzugehörigkeit aufgeführt. Weiterhin ist zu entnehmen, inwieweit von den Individuen Metapodien und Phalanges I sowie Knochen der Halswirbelsäule vorhanden sind (x). n.b.: nicht bekannt, HWS: Halswirbel, x: Metapodium stand nicht für alle Untersuchungen zur Verfügung, x**: Halswirbelsäule nur zum Teil vorhanden.*

3.3. Die Materialaufnahme und -verarbeitung

Alle Abweichungen von der Norm an den Gelenkflächen aller Knochen wurden von mir nach Möglichkeit erfasst. Dabei war es von Bedeutung, in welcher Stärke und an welchen Teilen der Gelenkflächen die Abweichungen genau vorkommen. Um dieses darzustellen, wurde für jede Gelenkfläche eine passende Tabelle entwickelt.

Die Tabellen sind in Microsoft Excel® aus dem Microsoft Office 2000® Paket geschrieben, in dem auch die gesamte Arbeit verfasst wurde.

Soweit es sich um statistisch auswertbare Daten handelt, sind die Berechnungen mit dem Programm SPSS® Version 10 durchgeführt worden. Für einfachere Berechnungen wurde Microsoft Excel® verwendet.

Um dem Leser das Aussehen der Abweichungen zu verdeutlichen, sind umfangreiche fotodokumentarische Beiträge eingefügt. Die Fotos sind mit einer Digitalkamera vom Typ Fuji FinePix 4900 Zoom® erstellt und mit dem Bildbearbeitungsprogramm Micrografx Picture Publisher 8® aufgearbeitet worden.

Als Grundlage für inhaltlich notwendige metrische Daten dient die Arbeit von A.v.d. Driesch (1976). Als Messinstrumente wurden Schieblehren sowie ein Messbrett verwendet.

4. Die Fesselgelenke

4.1. Grundlagen

4.1.1. Die Knochen des Fesselgelenkes

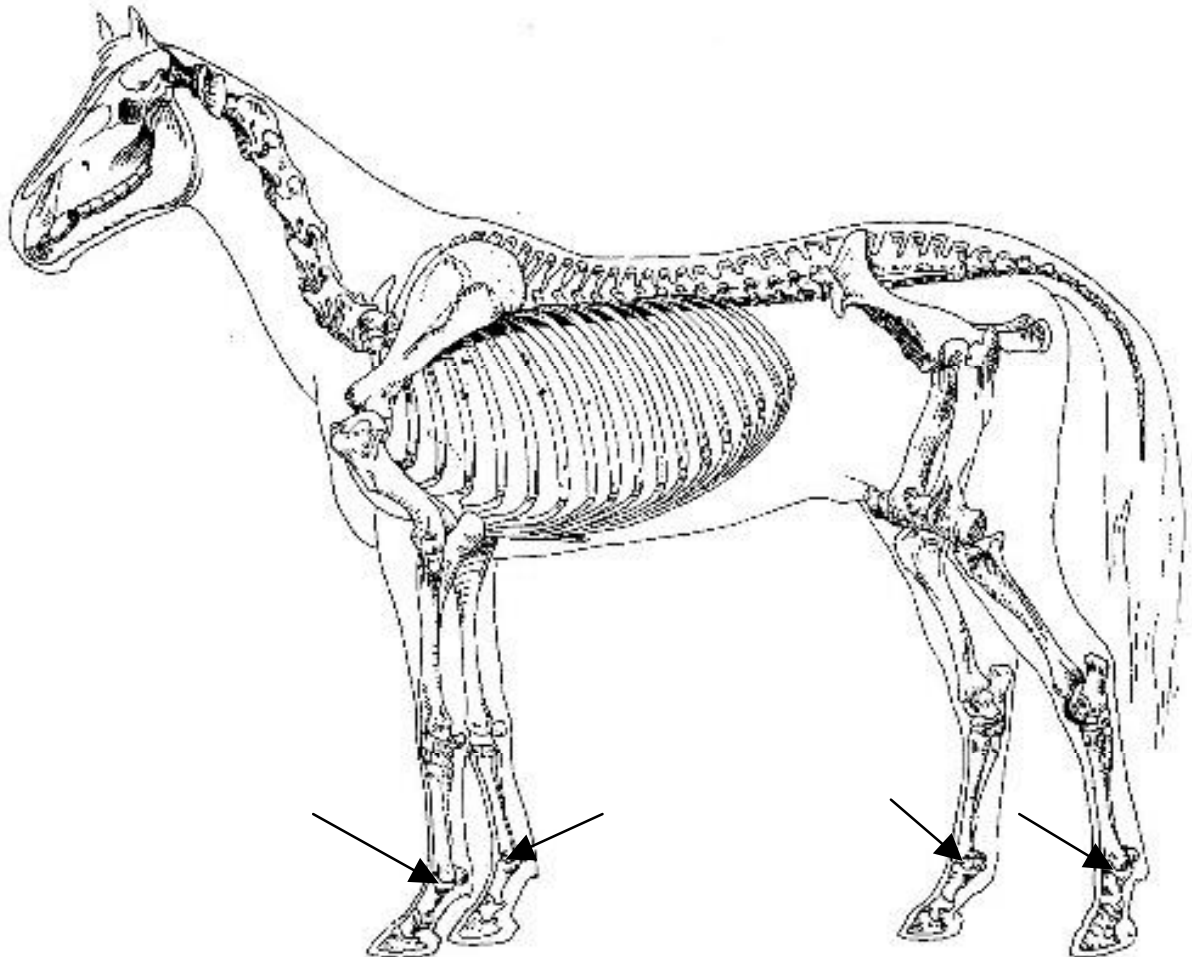
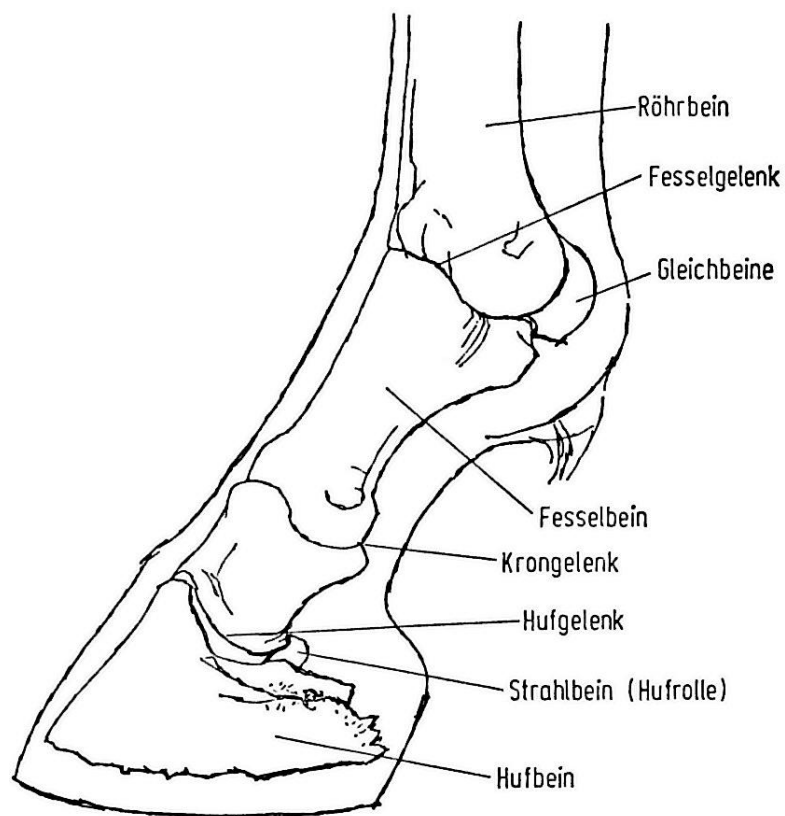


Abb. 4.1: Die vier Fesselgelenke des Pferdes (Skelett nach Ellenberger und Baum 1943, modifiziert).

Das Fesselgelenk ist aus jeweils vier Knochen aufgebaut (Abb. 4.2). Die Hauptknochen sind der Metacarpus, bzw. für die Hinterhand der Metatarsus und die Phalanx. Metacarpi und Metatarsi werden zusammenfassend auch Metapodien genannt. Sie stellen zusammen mit den Phalangen die gewichtstragenden Elemente in diesem Bereich dar. Daneben gehören zu einem Fesselgelenk noch jeweils zwei Sesambeine (s.u.). Bezüglich seiner Funktion nimmt das Fesselgelenk eine besondere Stellung ein.

Bei stützender Gliedmaße ist der palmar gelegene Beugewinkel mit $220-225^\circ$ größer als der dorsale Streckwinkel mit $140-135^\circ$. Das Gelenk ist zu einer Hyperextensionsstellung befähigt (Wissdorf et al. 1998). Die Ausmaße variieren bei verschiedenen Individuen und zudem je nach Bewegungsphase.



*Abb. 4.2: Knochen des distalen Gliedmaßenbereiches (nach Pick 1986).
Röhrbein = Metapodium (Metacarpus anterior und Metatarsus posterior),
Fesselbein = Phalanx I, Gleichbeine = Sesambeine*

4.1.2. Die Metapodien

Zu den Metapodien gehören die Metacarpen der vorderen Gliedmaßen und die Metatarsen der hinteren Gliedmaßen. Beide Knochen unterscheiden sich nicht in ihrem grundsätzlichen Aufbau, so dass die folgenden Abbildungen für Metatarsen und Metacarpen ihre Gültigkeit haben. Lediglich im Querschnitt gibt es Unterschiede (Abb. 4.7).

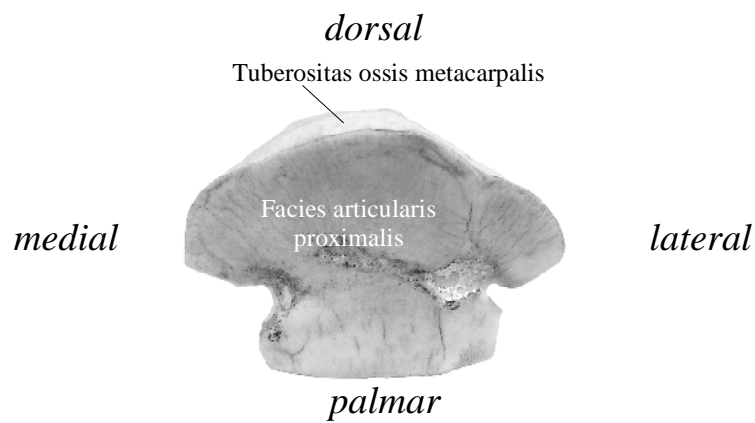


Abb. 4.3: Rechter Metacarpus, Proximalaufsicht.

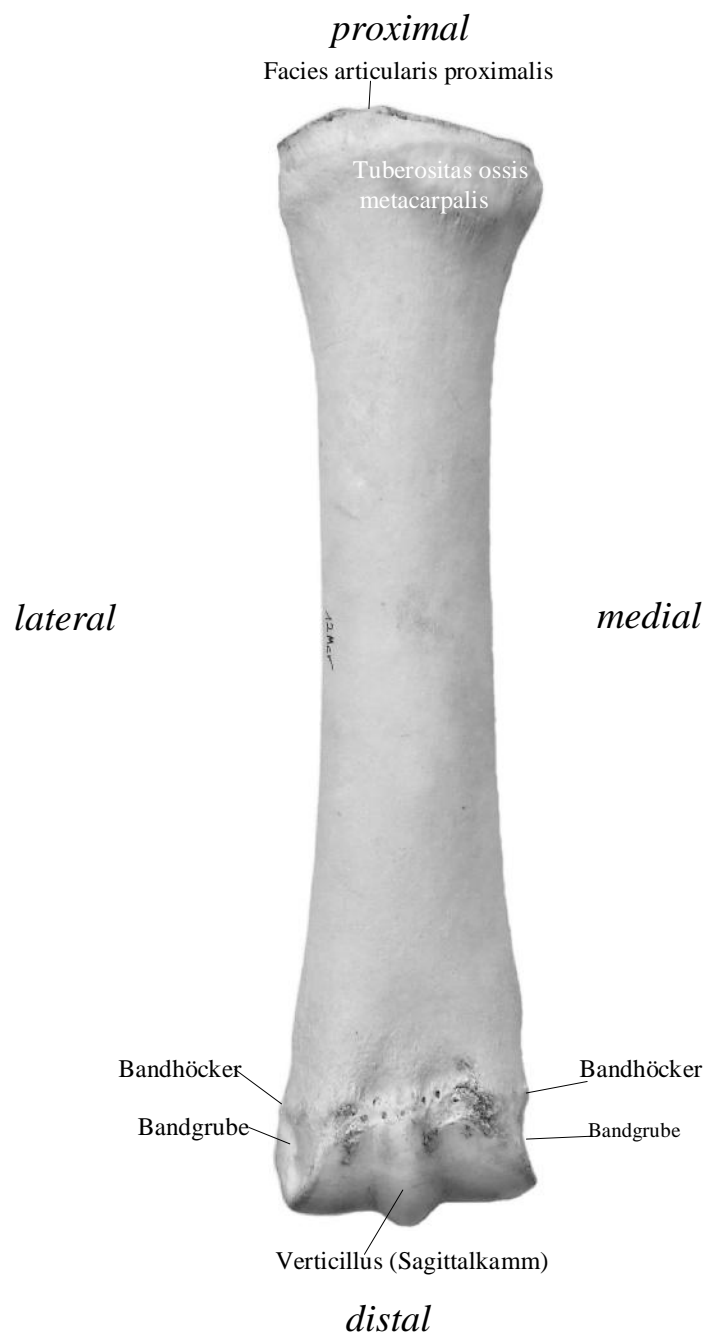


Abb. 4.4: Rechter Metacarpus, Dorsalaufsicht.

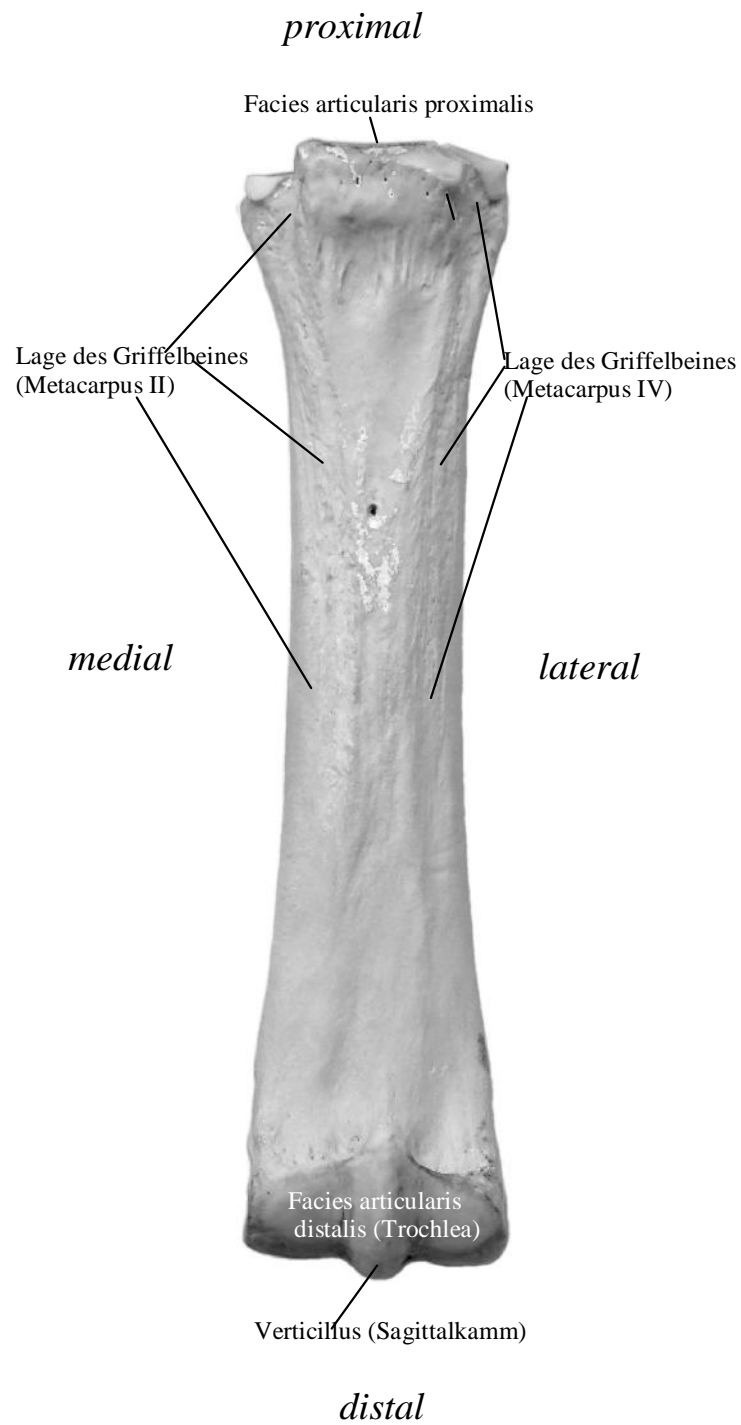
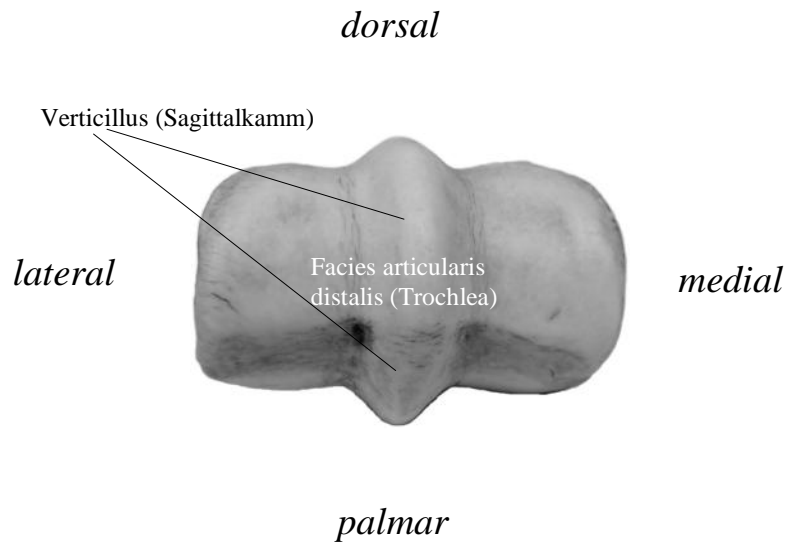


Abb. 4.5: Rechter Metacarpus, Palmaransicht.
 Die Gelenkfläche an der Trochlea erstreckt sich über einen Winkel von 220°. Dieses hängt mit dem großen Bewegungsumfang beim Beugen und Strecken des Gelenkes zusammen (Dyce et al. 1997).



*Abb. 4.6: Rechter Metacarpus, Distalaufsicht.
Der mediale Teil der Trochlea ist, besonders dorsal, ausladender (Schäfer 2001).
Dieses kann auch anhand von Maßen belegt werden (Kap. 10. , S. 195 ff.).*

Die Metapodien entsprechen dem dritten Mittelhand- bzw. Mittelfußknochen, der bei den Pferden als Zehengänger genutzt wird. Ihnen sitzen lateral und medial nur noch rudimentär und ohne gewichtstragende Funktion die Griffelbeine, also zweite und vierte Mittelhand/Fußknochen auf (Abb. 4.5 und Abb. 8.1). Entsprechend handelt es sich bei den Phalangen um die dritten Fingerglieder.

Die Metapodien verfügen aufgrund ihrer gewichtstragenden Funktion über sehr viel kompakte Knochensubstanz, besonders im Schaftbereich. Auch die Länge der Metapodien erfordert eine besondere Stabilität, weil ein derart langer Knochen bei Aufsetzen des Fußes in cranialer Richtung instabil werden und brechen könnte.

So kommt es bei den Metapodien aufgrund der hohen Stabilität des Röhrbeines selten zu Schaftfrakturen. Meist werden Kondylusfrakturen (distaler Abschnitt der Metapodien) beschrieben (Ferraro 1978, Rick et al. 1983).

4.1.3. Die Metapodien – unterschiedliche Formen der Vorder- und Hinterhand

Metacarpen und Metatarsen sind bei grundsätzlicher Ähnlichkeit etwas unterschiedlich gebaut.

Während die Metacarpen einen querovalen Querschnitt aufweisen, besitzen die Metatarsen einen rundlichen Querschnitt, was bei einem vergleichenden Blick auf die Facies articularis proximalis der Knochen erkennbar wird (Abb. 4.7). Dieses ist ein Ausdruck von unterschiedlichen Belastungen, die bei Bewegung auf beide Knochen einwirken.

Die Vordergliedmaßen haben bei Bewegung eine eher den Körper stützende und abfangende Funktion, während die eigentliche Kraft für die Fortbewegung aus der Hinterhand kommt, was in der Reiterei mit dem Satz „Der Schub kommt aus der Hinterhand“ verdeutlicht wird.



Abb. 4.7: Aufsichten auf die proximalen Facies, links Metacarpus, rechts Metatarsus. Deutlich ist der mehr ovale Querschnitt des Metacarpus gegenüber dem rundlichen Querschnitt des Metatarsus zu erkennen, was sich auch im Schaftquerschnitt widerspiegelt. Die runde Form ist gegenüber biegender Kräfte, wie sie beim Anschieben des Pferdekörpers mit der Hinterhand auftreten, noch stabiler. Dafür ist die Kompakta an der Vordergliedmaße dorsal und medial verstärkt (Nickel et al. 1992).

4.1.4. Die Sesama bina bilden eine Gleitrinne

Die zwei zu dem Fesselgelenk gehörenden Sesambeine (Sesama bina) (Abb. 4.8) sitzen palmar der Facies articularis distalis auf den Metapodien auf. Aufgrund ihrer Form bilden sie mit ihrer Palmarfläche ein Gleitlager für die Sehnen der Beugemuskeln (Koch 1976), die bei Beugung des Fesselgelenkes darüber geführt werden. Außerdem dürften sie, wie andere Sesambeine (z.B. die Patella (Kniescheibe)) auch als Hypomochlion (aus dem Griechischen: kleiner Hebel) dienen, und damit die Hebelwirkung der angreifenden Muskeln vergrößern (May 2008).

Die Sesambeine selbst sind nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.



Abb. 4.8: Palmodistalansicht auf die Facies articularis distalis eines Metacarpus mit den am Gelenk beteiligten Sesama bina.

Die „Rinne“, die von den Sesambeinen gebildet wird, dient der Führung der Sehnen der Beugemuskeln. Dabei handelt es sich um die oberflächliche und tiefe Beugesehne, deren Ansatz im oberen Gliedmaßenbereich zu finden ist und die über das Fesselgelenk hinweg zu den Phalangen laufen (siehe auch Abb. 4.16).

4.1.5. Die Phalanx I

Die Phalanx I (Fesselbein) entspricht dem ersten Finger- bzw. Zehenglied des Menschen. Seine proximale Gelenkfläche ist wesentlich breiter als die distale. Entsprechend der Facies articularis distalis der Metapodien ist auch die Facies articularis proximalis der Phalangen mit einem etwas größeren medialen Anteil neben der Sagittalrinne ausgestattet.

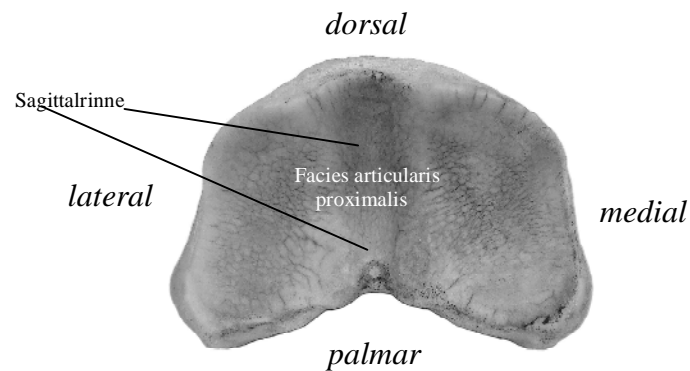


Abb. 4.9: Linke Phalanx I, Proximalaufsicht.
Auch bei den Phalangen ist der mediale Teil der Facies articularis proximalis größer (Wissdorf et al. 1998).
Sie ist besonders dorsal ausladender.

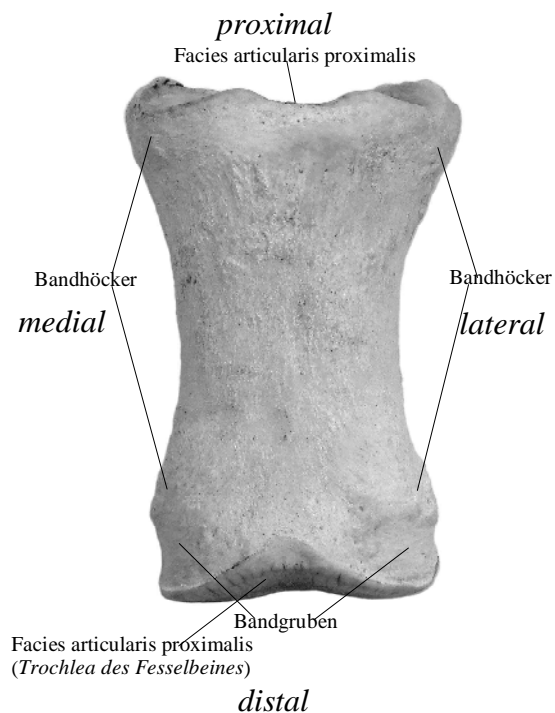


Abb. 4.10: Linke Phalanx I, Dorsalaufsicht.

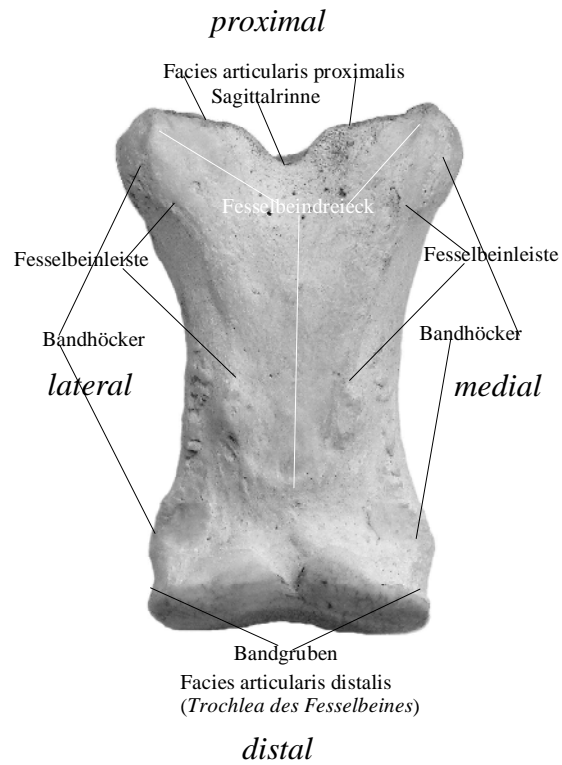


Abb. 4.11: Linke Phalanx I, Palmaraufrsicht.

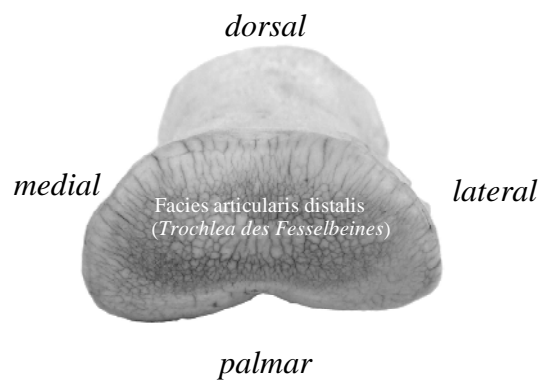


Abb. 4.12: Linke Phalanx I, Distalaufsicht.

4.1.6. Federschwingungen der Gliedmaßen sind entscheidend für den Wert des Pferdes

Eine schräge Lage der Scapula und ein langer Humerus bewirken ein weites Ausgreifen der vorderen Gliedmaße (Uppenborn 1990). Wahrscheinlich ist die Kenntnis um diese Eigenschaft sehr alt, weil für das frühe Mittelalter schon deutliche Unterschiede der Scapulalage bei Pferden unterschiedlicher Kulturkreise bewiesen werden konnten (Becker 2002, 2006, 2007).

Auch weiß man schon lange, dass weit unter den Körper greifende Hintergliedmaßen ebenfalls den Raumgriff erweitern und sich dieses züchterisch herausarbeiten lässt. Beim Pferd ist dazu eine schräge Kruppe (Lendenwirbelbereich, dessen Lage durch die Abwinklung des Beckens bestimmt wird) und ein deutlich abgewinkeltes Sprunggelenk erforderlich.

Beim Schäferhund wird ein ähnliches Prinzip deutlich. Durch die Absenkung der Wirbelsäule nach caudal wird eine sehr starke Abwinkelung des Sprunggelenkes erzeugt, die die Hintergliedmaßen weit unter den Hundekörper treten lassen.

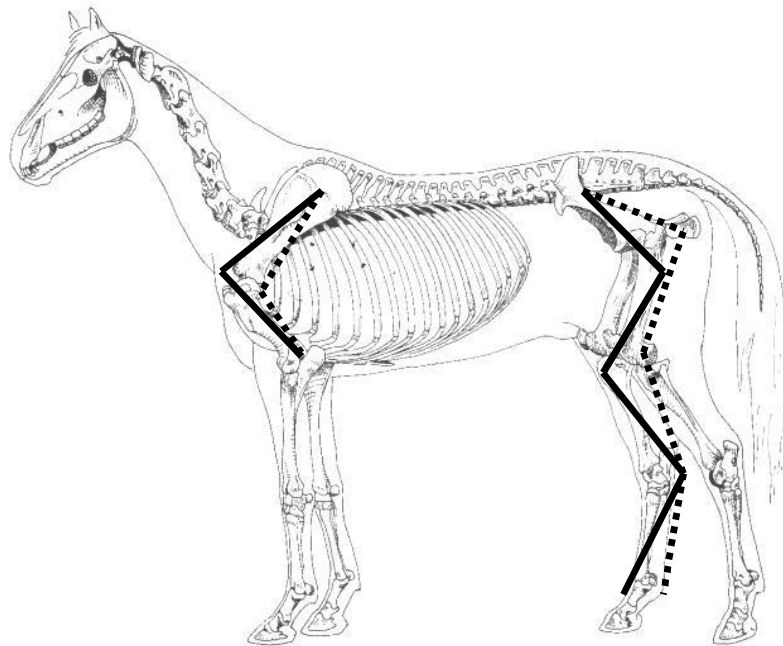


Abb. 4.13: Darstellung von Längen- und Lagevariationen
(Skelett nach Ellenberger und Baum 1943, modifiziert).

Die bezüglich der Laufeigenschaften wichtigen Knochen des Pferdes sind in ihren Variationen dargestellt. Eine Verbesserung der Laufeigenschaften der vorderen Gliedmaßen geht immer mit einer Lageveränderung der Scapula und einer Verlängerung des Humerus einher. Bei den Hintergliedmaßen führt in erster Linie die Lageveränderung des Beckens sowie die daraus resultierenden anderen Abwinkelungen der Langknochen zueinander zu einem weiteren „Unterfüßen“ der Hinterhand. Unabhängig davon sind auch hier Längenverschiebungen möglich, die jedoch bezüglich der Laufeigenschaften keine Priorität haben. Durchgezogene Linie: Lage bei guten Laufeigenschaften, gestrichelte Linie: Lage bei eher schwachen Laufeigenschaften.

Jedoch reicht die Lage der Scapula und die Formation der Kruppe heute, in der Zeit der Sportpferde, nicht mehr aus, um den Wünschen an Reitkomfort und einem attraktiven Gangbild gerecht zu werden.

Der Züchter muss, besonders wenn spätere Dressurpferde vermarktet werden sollen, Tiere produzieren, deren Gangbild von einer weiteren Eigenschaft geprägt ist. In der Züchtersprache ist von "das Pferd hat Gummi" oder „es schwingt im Rücken" die Rede. Da ein Rücken nur in Abhängigkeit von den Bewegungen des Beine schwingen kann, lässt sich erahnen, dass es sich ebenfalls auch um eine Eigenschaft der Gliedmaßen handeln muss.

In der Satzung der hannoverschen Warmblutzüchter (Verband hannoverscher Warmblutzüchter e.V. (2005): Satzung, Stand: 6. Juni 2005), in der das Zuchtziel formuliert wird, ist von Schwung und Elastizität sowie Kadenz im Trabe die Rede. Diese Formulierungen umschreiben dasselbe Phänomen.

Dieser Begriff „Kadenz“ bedeutet eigentlich Betonung. Am ehesten ist eine Betonung im Trabe denkbar, wenn man sich einen hochelastischen Gummiball vorstellt. Diese Bälle können, wenn erst in Aktion, lange ohne erneute Energiezufuhr durch den Menschen Prellbewegungen ausführen. Bei sich wiederholender Energiezufuhr durch den Menschen nach dem Aufschlagen auf den Boden vermögen diese Spielzeuge höher als andere Bälle zu springen, was den Reiz ausmacht.

Nun muss das Pferd über einen ähnlichen Mechanismus verfügen, sofern es als junges Tier mit guten Bewegungsabläufen verkauft werden soll, was letztlich auch die Absicht einer Zuchtmaßnahme ist. Für jeden, der sich mit den Gangkapazitäten der Pferde befasst, und das tun Züchter in besonderem Maße, ist erkennbar, dass es Pferde mit mehr oder eben weniger Elastizität und Kadenz gibt. Tatsächlich konnte auch wissenschaftlich belegt werden, dass jedes Pferd neben Pendelschwingungen (man stelle sich ein Bein in der Gangart Schritt als Pendel vor) auch Federschwingungen nutzt, ohne die die schwungvollen Gangarten Trab und Galopp nicht möglich wären (Witte et al. 1995a, 1995b). Auch die schnelleren Gangarten anderer Lebewesen sind nicht allein mit Pendelschwingungen erklärbar, so dass z.B. auch für Laufbewegungen beim Menschen die Mitwirkung elastischer Federn lange bekannt ist (Margaria et al. 1963).

Pferdebeine besitzen besonders lange Sehnen und bieten gute Voraussetzungen für Federschwingungen (Hildebrand 1985) (Abb. 4.14, Abb. 4.16). Der Nachweis elastischer Energiespeicher in Muskel-Sehnen-Komplexen konnte zudem experimentell erbracht werden (Witte et al. 1995b).

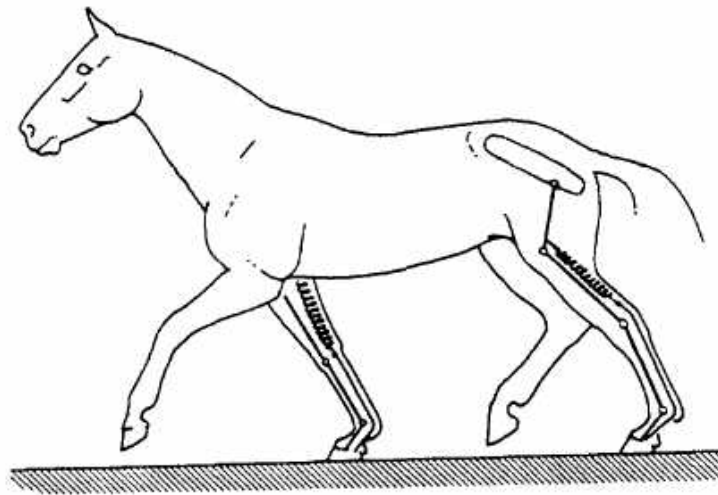


Abb. 4.14: Schematische Darstellung der wichtigsten „Beinfedern“ (nach Preuschoft et al. 1994). Die Federn symbolisieren die oberflächliche und tiefe Beugesehne (*Musculus flexor digitalis profundus* und *superficialis*). Sie führen von Knochen der oberen Gliedmaße bis zu den Phalangen und werden nach dem Aufsetzen passiv über das Fesselgelenk in der Hyperextensionsphase (Beugephase) gedehnt (Abb. 4.15, Abb. 4.17).



Abb. 4.15: Metacarpus und Phalanx I in Normalposition und Beugeposition (Hyperextensionsphase). Metacarpus und Phalanx I bilden das Fesselgelenk. Die Abbildungen zeigen die Ansicht von medial. Bei dem linken Foto entspricht die Stellung der beiden Knochen zueinander in etwa der Position im Stehen des Pferdes, bei dem rechten Foto ist das Fesselgelenk gebeugt. Diese extreme Beugung kommt in den Gangarten Trab und Galopp vor (Abb. 4.17, Abb. 4.19), nicht jedoch im Schritt.

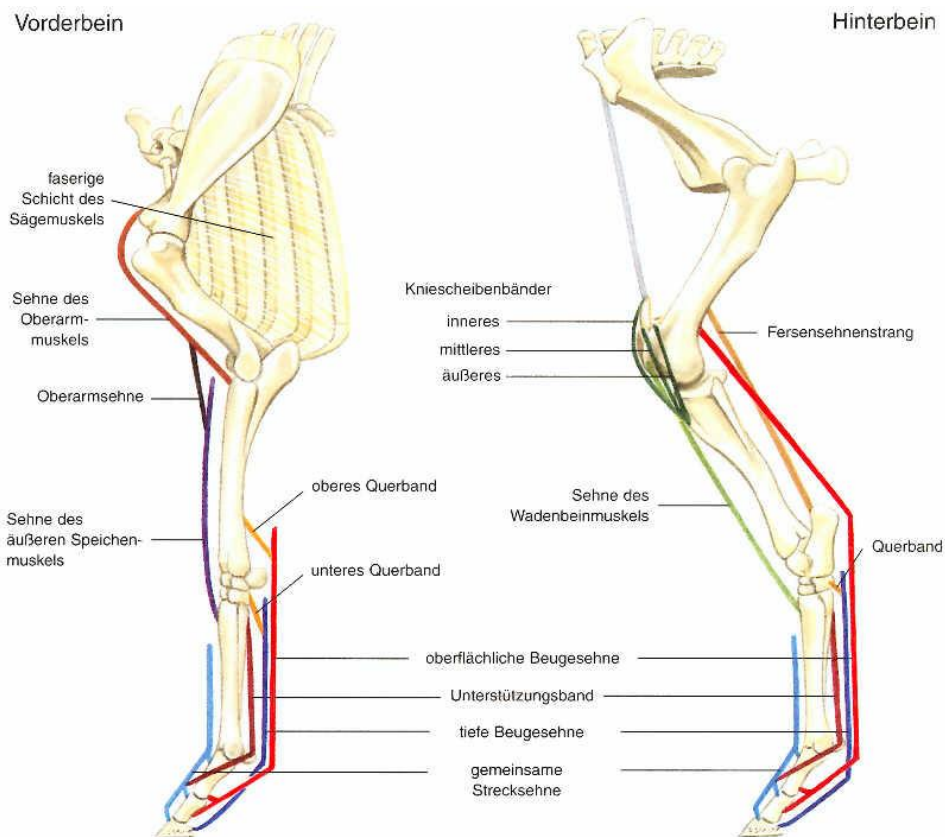


Abb. 4.16: Die Gliedmaßen mit den wichtigsten Sehnen (nach Colles 2000).
links Vorderbein, rechts Hinterbein. Palmar befinden sich die Beugesehnen (Flexoren). Die für die Federung wichtige oberflächliche und tiefe Beugesehne wird über die Gelenkrolle der Fessel mit Hilfe der Sesambeine geführt. Die oberflächliche Beugesehne setzt bei der Vorder- und Hinterhand sowohl am Fesselbein (Phalanx I) als auch am Kronbein (Phalanx II) an. Der dazugehörige Muskel entspringt am Vorderbein am distalen Teil des Humerus. Am Hinterbein entspringt er an der distalen Hälfte des Femur. Die tiefe Beugesehne setzt bei der Vorder- und Hintergliedmaße am Hufbein (Phalanx III) an. An der Vordergliedmaße entspringt der Muskel im Bereich des Ellenbogengelenkes. An der Hintergliedmaße befindet sich der Ursprung an Tibia und Fibula.

Um das Phänomen der Federschwingungen besser zu verstehen, ist es sinnvoll zunächst das Gangbild eines Pferdes genauer zu betrachten (Abb. 4.17).



a) Das linke Vorderbein befindet sich am Ende der Hangbeinphase und ist so weit vorgeführt, dass es unmittelbar vor dem Aufsetzen ist.



b) Das linke Vorderbein hat aufgesetzt, die Stützbeinphase beginnt damit.



c) Das Bein befindet sich fast in senkrechter Stellung unter dem Pferdekörper. Das Fesselgelenk ist stark abgewinkelt (der Winkel, der von Metacarpus und Phalanx I auf der dorsalen Seite gebildet wird, ist kleiner als auf den vorangegangenen Abbildungen).



d) Das Bein befindet sich hinter der Senkrechten, also mehr caudal unter dem Körper. Nun ist das Fesselgelenk nicht mehr so stark abgewinkelt.



e) Am Ende der Stützbeinphase ist die Einfederung aufgehoben. Das linke Vorderbein wird gleich abfüßen und damit erneut in die Hangbeinphase übergehen. Bei diesem Pferd ist die Einfederungskapazität der Hinterbeine ebenso ausgeprägt. Somit treffen die Betrachtungen auch für das rechte Hinterbein auf diesen Fotos zu, das sich im Trabe synchron bewegt. Die Federungskapazität der Vorder- und Hintergliedmaßen muss nicht immer übereinstimmen. Bei den Gliedmaßenpaaren der beiden Körperseiten ist, bis auf seltene Ausnahmen, immer eine Übereinstimmung da.

Abb. 4.17 a-e: Federung der Beine im Trabe.

Dieses Pferd ist gerade angeritten und hat noch einen geringen Ausbildungsstand. Es bewegt sich unter dem Reiter lediglich im Arbeitstrab (im stärkeren Trabe würden die Schwingungen noch stärker ausfallen; mit Reiter ist dieses in der Anfangsphase noch zu schwierig). Man beachte das linke Vorderbein!

Bei der Beobachtung eines Pferdes im Trabe unterscheidet man die Bewegungsphasen des einzelnen Beines grundsätzlich in Hangbeinphase (in dieser Phase befindet sich das Bein in der Luft) und Stützbeinphase (das Bein ist am Boden). In der Hangbeinphase wird das Bein ohne Bodenkontakt nach vorne geführt und setzt dann auf dem Boden auf (Abb. 4.17). Mit dem Bodenkontakt beginnt die Stützbeinphase. In dieser Phase müssen die Gliedmaßen nicht nur das Gewicht des Tieres abfangen, sondern auch die aus der Bewegung resultierende Energie. Diese Kräfte werden durch ein „Einfedern“ unmittelbar nach dem Aufsetzen des Beines abgefangen. Die Muskeln und Sehnen der Musculi flexores digitorum (oberflächliche und tiefe Beugesehne) werden passiv gedehnt. Der Vorgang wird über die Führung der Sehnen über die Fesselgelenke ermöglicht (Nickel et al. 1992). Das Fesselgelenk wird extrem gebeugt (Abb. 4.15 und Abb. 4.17). Mit dem Zurückfedern und erneuten Abfußen wird die Energie nun wiederum auf die Bewegung des Beines in der Hangbeinphase übertragen, was im stärkeren Trab zu dem Eindruck führt, dass das Pferd die Beine geradezu in Bewegungsrichtung in die Luft zu werfen vermag. Der Federungsmechanismus ist es auch, der im stärkeren Trabe eine Schwebephase (Abb. 4.18) bewirkt. In dieser Schwebephase befindet sich das Pferd mit allen vier Beinen nach jedem Aufsetzen eines jeweils diagonal gegenüberliegenden Beinpaars in der Luft. Je größer die Federungskapazität, um so länger ist die Dauer der Schwebephase, die ein Pferd im Trabe erzielen kann. Ein beliebter Kommentar z.B. bei der Vermarktung solcher Pferde ist: „Das Pferd berührt nur noch aus Gefälligkeit den Boden“. Dieses ist aber keineswegs die Zielsetzung des Tieres selber, was die Aussage suggeriert, sondern bei gezielter Züchtung hat das Tier aufgrund der vom Menschen forcierten Gebäudeigenschaften gar keine andere Möglichkeit, sich im starken Trabe zu bewegen.



*Abb. 4.18: Junge Warmblutstute im Trabe.
Das Tier befindet sich momentan in der Schwebephase. Die Stute verfügt neben ihrer Federungskapazität über eine weit untergreifende Hinterhand und über eine ausgeprägte und schräge Schulterpartie. Diese Eigenschaften zusammen ermöglichen einen sehr frühen Eintritt in die Schwebephase, d.h. bei ihr ist keine große Trabverstärkung nötig.*



*Abb. 4.19: Junge Warmblutstute im Galopp.
Das linke vordere und rechte hintere Fesselgelenk sind in dieser Phase extrem gebeugt. Die Phalanx I dürfte sich nahezu parallel zum Boden befinden.*

Zusammenfassend heißt das: Je nach Ausprägung der Federungskapazität, gepaart mit einer dazu noch weit unter den Pferdekörper greifenden Hinterhand und einer schrägen Schulter, ergibt sich das heute gewünschte, sehr schwungvolle Gangbild.

Zumindest seit Ende des 2. Weltkrieges, mit dem beginnenden Ende des Pferdes als Arbeitstier, wird forciert züchterisch diese Eigenschaft erzeugt.

4.1.7. Das Fesselbein ist einer der gefährdetsten Knochen beim Pferd

Aufgrund des Aufbaues der Facies articularis proximalis mit der Sagittalrinne und der besonderen Belastung, die das Fesselgelenk in der Hyperextensionsphase (Kap. 4.1.6. , S. 44 ff. und Abb. 4.15 und Abb. 4.17) erleidet, wirken sich Scherkräfte extrem aus, so dass das Fesselbein am stärksten bruchgefährdet ist (Wintzer 1997). Man stelle sich dazu vor, wie der distale Abschnitt des sehr stabilen Metacarpus mit seiner Sagittalrinne auf die proximale Gelenkfläche des Fesselbeines einwirkt, besonders wenn beide Knochen unglücklich gegeneinander verschoben in die Hyperextensionsphase, die zudem noch eine große Gewichts- und Schubbelastung auffängt, eintreten. So kommt es dann sehr schnell zu einer Sagittalfrakturentstehung der Phalanx I in der Extensionsphase des Gelenkes bei axialer Kompression und einem plötzlichen Drehmoment gesprochen. Unter dem Drehmoment wären Geländeunebenheiten und außergewöhnliche Drehbewegungen während der Stützbeinphase denkbar, die zu einer seitlichen Biegebeanspruchung führen.

4.1.8. Unterschiedliche Belastungszonen der Gelenkflächen des Fesselgelenkes

Der subchondrale Knochen aller Gelenkflächen weist in Zonen höherer Belastung eine höhere Knochendichte auf als in Zonen geringerer Belastung. Besonders durch langfristige Belastungen entwickelt sich eine charakteristische Dichteverteilung (Pauwels 1965). In Zonen sehr hoher Belastungen kann es auf Dauer zu Schädigungen des Knochens und auch des darüber liegenden Knorpels kommen. Es entstehen arthrotische Veränderungen (Müller-Gerbl 1991).

Die Gelenkflächen des Fesselgelenkes sind extrem hohen Belastungen ausgesetzt, da dieses Gelenk in der Stützbeinphase in eine Hyperextensionsstellung gelangt (Abb. 4.15, Abb. 4.17, Abb. 4.19: Kap. 4.1.6. , S. 44 ff.). Dieses wirkt sich besonders auf die subchondrale Knochendichte aus.

Bei 45 Fesselgelenkspräparaten von 26 Pferden wurden die subchondralen Knochendichten der Gelenkflächen der Fesselgelenke mit Hilfe eines besonderen computertomografischen Verfahrens bestimmt (Schäfer 2001). Die Tiere entstammten unterschiedlichen Rassen, hatten unterschiedliche Größen und waren unter ein Jahr bis 30 Jahre alt.

Zur Darstellung der Ergebnisse dieser Arbeit wurden Abbildungen der Gelenkflächen mit unterschiedlichen Farbintensitäten zweier Farben markiert. Dabei steht eine Farbe für Zonen geringer Knochendichte und die andere für Zonen höherer Knochendichte. Indem die Abbildungen der Gelenkflächen mehrerer, nach Altersgruppen geordneter Individuen übereinandergelegt wurden, entstanden Summationsbilder. Diese Summationsbilder machen Sinn, weil sich die Zonen bei Pferden gleicher Altersgruppen sehr ähnlich sind (Abb. 4.20).

Da es unter anderem ein Anliegen der vorliegenden Arbeit ist, einen möglichen Zusammenhang zwischen Zonen großer Belastungen der Gelenkflächen und dem Vorkommen osteochondraler Defekte zu erkennen, werden die Abbildungen Schäfers zur Darstellung der Lokalisation der hier vorliegenden Ergebnisse verwendet (Kap. 4.2.2. , S. 56 ff.).

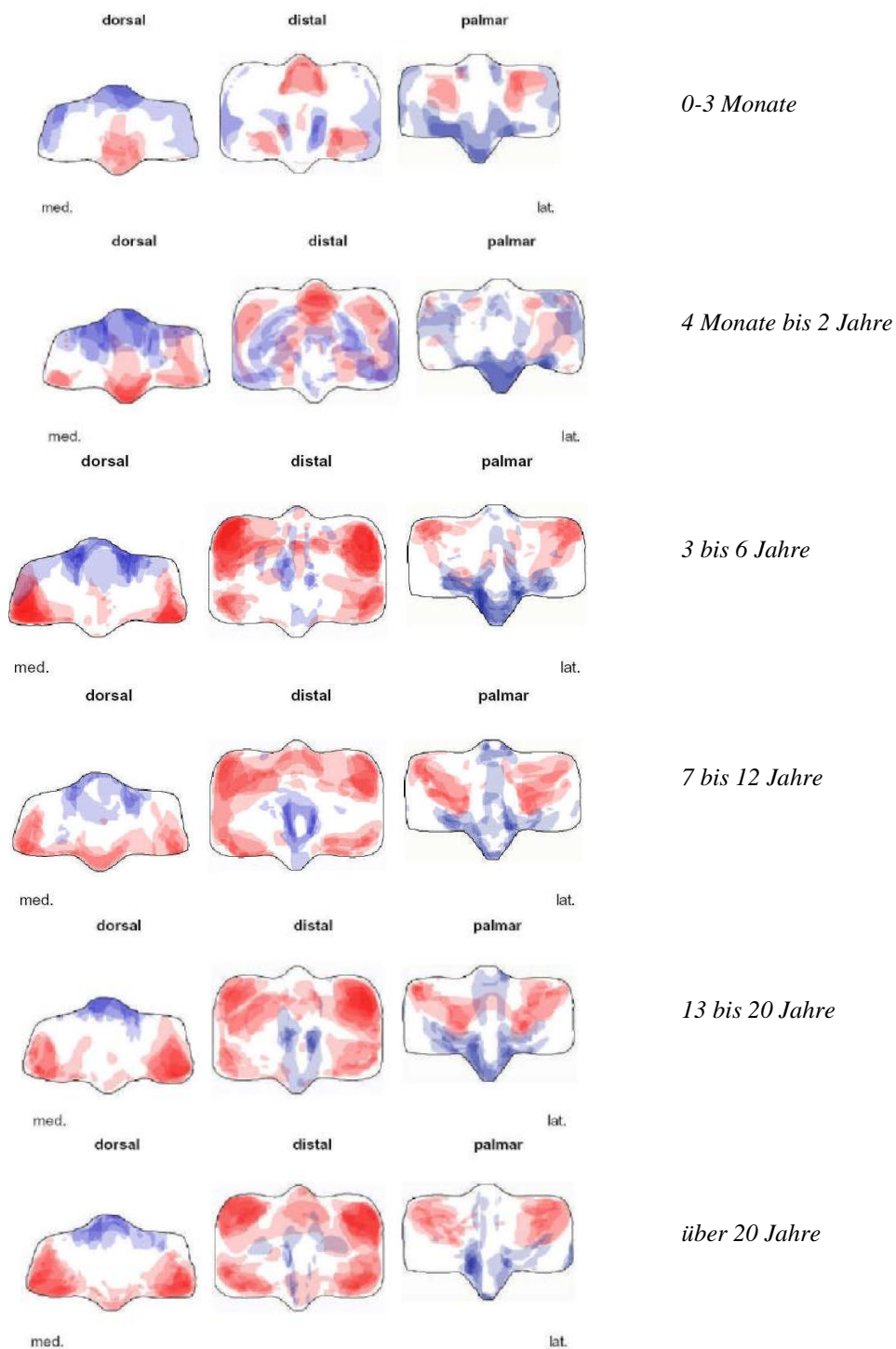


Abb. 4.20: Subchondrale Knochendichte der Metacarpenttrochlea im Altersgang
(nach Schäfer 2001, modifiziert).

Pro Altersgruppe wurden die Bilder durch übereinander legen summiert. Die roten Zonen markieren Bereiche besonders hoher Knochendichte, die blauen Zonen zeigen geringe Knochendichten an. Die hellen Areale bewegen sich im mittleren Bereich. Exemplarisch wurden auch Knochen der Fesselgelenke der hinteren Gliedmaßen untersucht. Bei den einzelnen Individuen waren keine nennenswerten Unterschiede zu entdecken, so dass die Bilder auch für den Metatarsus ihre Gültigkeit haben.

4.2. Ergebnisse

4.2.1. Befundtypen

4.2.1.1. Metacarpus

Fissuren und lochartige Aussparungen des subchondralen Knochens an der Facies articularis proximalis des Metacarpus sind dem Osteochondrose-Komplex zugeordnet und werden als **Osteochondrose an der Facies articularis proximalis (OcFap)** bezeichnet (siehe Abb. 4.25, und Abb. 7.3).

Osteochondrose-Befunde am Sagittalkamm kommen in der „klassischen“ Form fast immer dorsodistal vor und sind in folgenden Beispielen dargestellt. Sie sind mit **OcS** gekennzeichnet.



Abb. 4.21: Facies articularis distalis des linken Metacarpus von Pferd 1 (♂ 3-jährig), Dorsalaufsicht. Zusätzlich zu einem osteochondralen Rissdefekt am distalen Rand (Abb. 4.22) ist ein hypertroph erscheinender Bereich weiter proximal am Sagittalkamm zu sehen (beide Defekte siehe in Tab. 4.1 und Abb. 4.26 OcS: dd und dp).



Abb. 4.22: Facies articularis distalis des linken Metacarpus von Pferd 1 (♂ 3-jährig), Distalaufsicht, oben dorsal. Dorsodistal ist ein osteochondraler Rissdefekt zu erkennen (siehe in Tab. 4.1 und Abb. 4.26 OcS: dd).



Abb. 4.23: Facies articularis distalis des linken Metacarpus von Pferd 11 (♂ 2-jährig), Distalaufsicht, oben dorsal. Dorsal der Abdrücke (Kap. 9., S.194 ff., Abb. 9.1) ist ein ovaler osteochondraler Rissdefekt zu erkennen. Es zeichnet sich eine isolierte Insel der Knochensubstanz ab (Tab. 4.1 und Abb. 4.26 OcS: dd).

Fissuren kommen auch neben dem Sagittalkamm an der Trochlea vor und sind ebenfalls dem Osteochondrose-Komplex zugeordnet. Sie sind mit **Osteochondrose neben dem Sagittalkamm** benannt (**OcnS** (Abb. 4.27)).

Exostosen an den Rändern der Trochlea sind scharfrandige Ausziehungen der Gelenkfläche. Erst im sehr fortgeschrittenen Stadium kann es zu Wulstbildungen kommen. Sie werden als **Exostosen distal (Ed)** bezeichnet.

4.2.1.2. Metatarsus

Am Metatarsus kommen **OcFap, OcS, OcnS und Ed** ebenso vor wie am Metacarpus. Diese Begriffe sind in obigem Kapitel einzusehen.

Aufgrund seiner Beteiligung am Sprunggelenk ist die Facies articularis proximalis des Metatarsus besonders anfällig für Randexostosen. Diese sind sehr deutlich „ausgezogen“ und werden im Folgenden „**Lipping**“ genannt (**Lip** (Abb. 2.11 und Abb. 4.24)).



Abb. 4.24: Facies articularis proximalis des linken Metatarsus von Pferd 2 (Ä, 14-jährig), Proximalaufsicht, oben dorsal. Dorsal befindet sich eine kantige Randexostose. Der Rand ist sehr scharf nach proximal ausgezogen. Diese Exostose wird aufgrund ihrer überlappenden Form u.a. auch „Lipping“ genannt. Sie kommt häufig vor und steht in Zusammenhang mit der „Spat“-Anfälligkeit des Sprunggelenkes.

4.2.1.3. Phalanges

Ein bei diesem Material vorkommender Rissdefekt in der Sagittalrinne (Abb. 7.13, Abb. 7.16 und Abb. 4.33) wird dem Osteochondrose-Komplex zugeordnet und mit **Osteochondrose in der Sagittalrinne** benannt (**OcS**).

Weiterhin kommen wie bei den Metapodien Fissuren auf der medialen und lateralen Gelenkfläche neben der Sagittalrinne vor und werden **OcnS**, also **Osteochondrose neben der Sagittalrinne** genannt (Abb. 7.14, Abb. 7.15 und Abb. 4.34).

Auch **Randexostosen an der Facies articularis proximalis** sind häufig (**Ep** (Abb. 4.35)).

4.2.2. Befunde

Mit den in Kap. 4.2.1. (S. 54 ff.) erklärten Befundtypen werden nun folgende Tabellen zu einer ersten Datenaufnahme erstellt. Um die Ortsangaben aus den Tabellen zu veranschaulichen, sind die Befunde in Abbildungen eingefügt, die im Fall der Fesselgelenke auf den Abbildungen der Gelenkflächen mit den Ergebnissen der Druck- und Dichtemaxima (nach Schäfer 2001) erscheinen (siehe Kap. 4.1.8. , S. 52 ff.).

4.2.2.1. Metacarpus

Mc Pferd	OcFap		OcS		OcnS		Ed	
	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.
1	o	dz	dd,dp	dd	o	o	dm	o
2	o	n.b.*	o	o	o	o	dm	dm
3	z	z	o	o	dm, pl	dl	o	o
4	o	o	dd	dd	o	o	dm,dl,pm	dm,dl,pm
5	o	o	o	o	o	o	o	o
6	o	o	o	o	o	o	dz	dz
7	pm	o	o	o	pm,pl	pm,pl	dz,pz	dz,pz
8	o	o	o	o	o	o	dm,pm	dm,pm
9	dm	o	o	o	dm,pm	dm,pm, pl	dm,pm	dm,pm
11	o	o	dd	dd	o	dl	o	o
12		o		o		o		dm,pm
16	o	o	dd	dd	o	o	dm,dl	dm
17	o	o	dd	dd	dm	dm	o	o
LO	o		o		o		o	
KT36	o	o	o	o	o	o		

Tab. 4.1: Osteochondrale Defekte und Exostosen am Metacarpus.

Diejenigen Defekte, die unzweifelhaft der Osteochondrose und Exostosen zuzuordnen sind, finden sich mit Lokalisationsangaben in der Tabelle. Mc: Metacarpus, li.: links, re.: rechts, OcS: Osteochondrose am Sagittalkamm, OcnS: Osteochondrose neben dem Sagittalkamm, Ed: Exostosen am Rand der distalen Facies, z: zentral (inmitten), dz: dorsozentral (Mitte der Dorsalseite), dd: dorsodistal, dp: dorsoproximal, dm: dorsomedial, dl: dorsolateral, pm: palmomedial, pl: palmolateral, pz: palmozentral, o: ohne Befund., n.b.: nicht bestimmbar wegen Exostosen und Nekrosen, bei den leeren Feldern waren die Knochen nicht vorhanden, fett gedruckte Lokalisationen bezeichnen besonders ausgeprägte Defekte.
Zur Lage der Defekte bitte auch Abb. 4.25 bis Abb. 4.28 beachten.*

Die Tabellenergebnisse werden nun auf den Gelenkflächen selber dargestellt
(ab Abb. 4.25, ff.).

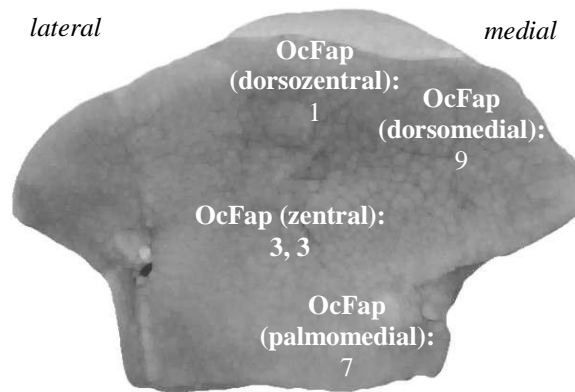


Abb. 4.25: Osteochondrale Schäden an der Facies articularis proximalis des Metacarpus. Die Beschriftungen sind wie folgt zu verstehen: Von osteochondralen Schäden an der Facies articularis proximalis im zentralen Bereich der Gelenkfläche ist das Individuum 3 zwei Mal betroffen, damit also auf beiden Körperseiten. Die Zahlen sind in diesem Fall fett gedruckt, der Schaden ist demnach stark ausgeprägt. Individuum 7 ist auf einer Gliedmaßen-seite nur schwach palmomedial betroffen.

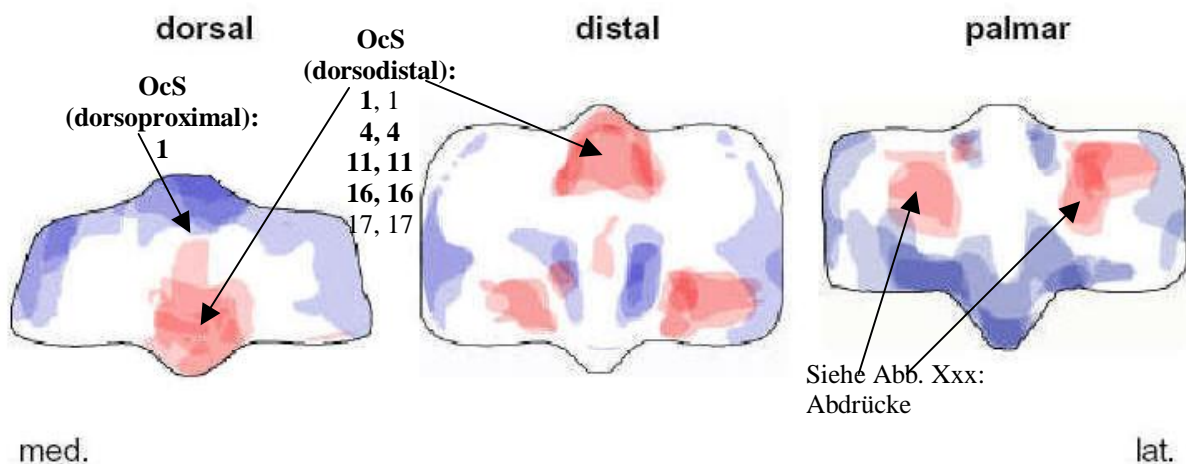


Abb. 4.26: Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Facies articularis distalis des Metacarpus (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert). Die hier verwendeten Dichtemaxima der 0 bis 3 Monate alten Pferde (Schäfer 2001) stimmen mit der Anhäufung der Befunde im dorsodistalen Bereich überein. In allen Fällen sind die Schäden auf beiden Körperseiten zu finden. Die sich in diesem Alter abzeichnenden Dichtemaxima auf der Palmarseite des Gelenkes befinden sich dort, wo auch die Abdrücke der Sesama bina erkennbar sind (Abb. 9.1). Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.

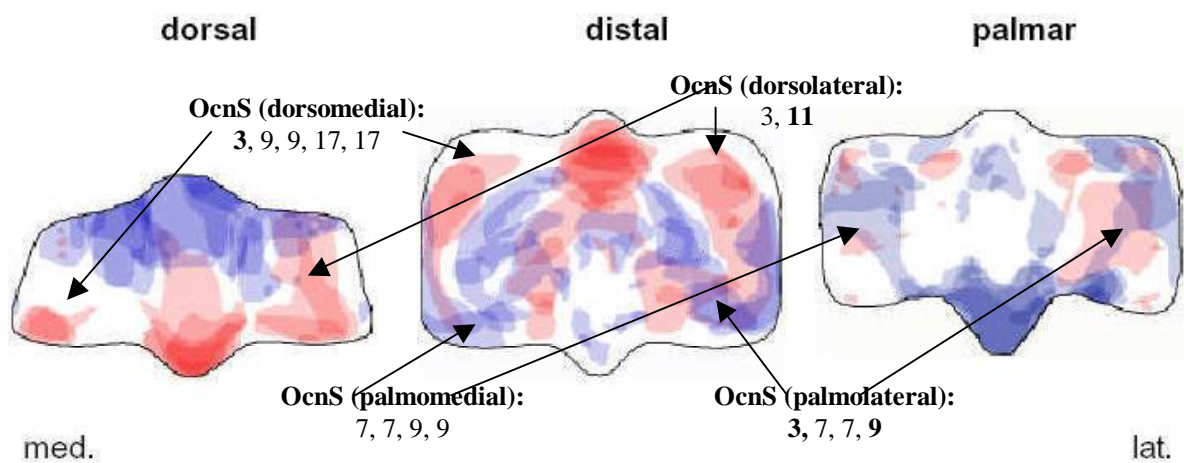


Abb. 4.27: Osteochondrale Schäden neben dem Sagittalkamm der Facies articularis distalis des Metacarpus (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).
Bei diesem Befundtyp liegen die Abweichungen zum Teil auf den hier abgebildeten Dichtemaxima der 4 Monate bis 2 Jahre alten Pferde.
Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.

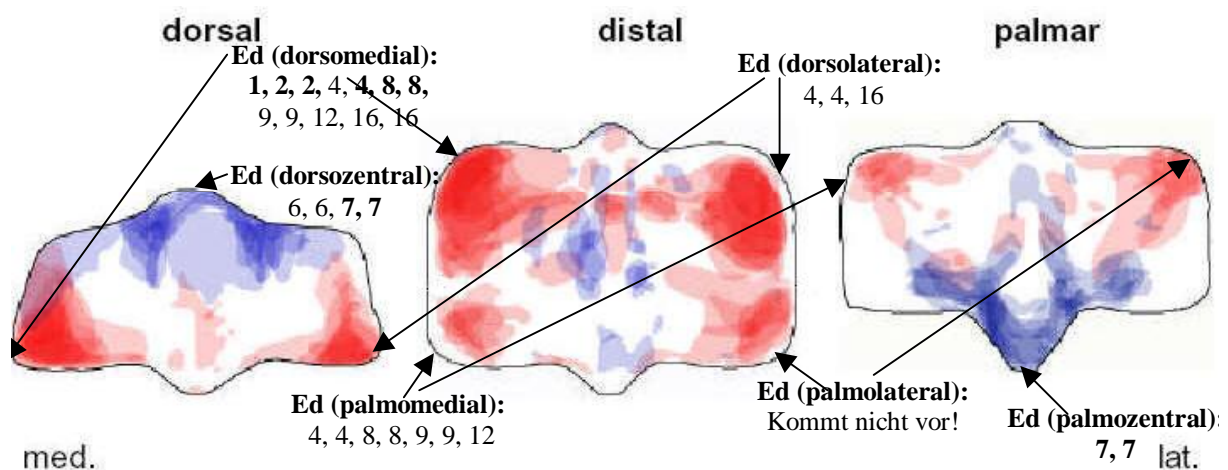


Abb. 4.28: Exostosen am Rand der Facies articularis distalis des Metacarpus (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).
Für diese Darstellung wird das Summationsbild der Dichtemaxima der 3 bis 6 Jahre alten Pferde verwendet.
Die Anhäufung der dorsomedialen Randexostosen befindet sich an einem in diesem Alter auftretenden Dichtemaxima.
Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.

4.2.2.2. Metatarsus

Mt	OcFap		Lip		OcS		OcnS		Ed	
Pferd	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.
1	dz	o	o	o	o	o	pm,pl	pm,pl	o	o
2	o	n.b.	d	d	o	o	o	o	dz,dm	o
3	o	o	d	d	o	o	dm ,pm,pl	pl	o	o
4	o	o	o	d	o	o	o	o	dl	o
5	o	o	d	d	o	o	o	o	o	o
6	o	o	d	d	dd	dd	pm	pm	dz	dm
7	o	o	d	d	o	dd	o	o	dz,dl	dz
8	o	o	d	d	o	o	o	o	dz ,pz	dz
9	o	o	d	d	o	o	dm ,pm,pl	dm ,pm,pl	dm ,dl	dm
10										
11		dz		d		dd		dm		o
12										
13	n.b.		n.b.		pd		pm		dm,dl	
14	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	o	o	o	o	o	o
15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	dd	dd	o	pm	o	dz
16	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	dd	dd ,pd	o	dm,dl	dm,pm	d
17	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	dd	o	pm	o	o	o
LO	o	o	d	d	o	o	o	o	o	o
KT36	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Tab. 4.2: Osteochondrale Defekte, Lipping und Exostosen am Metatarsus.

Diejenigen Defekte, die unzweifelhaft der Osteochondrose und Exostosen zuzuordnen sind, finden sich mit Lokalisationsangaben in der Tabelle. Mt: Metatarsus, li.: links, re.: rechts, OcFap: Osteochondrale Läsion an der Facies articularis proximalis, Lip: Lipping an der Facies articularis proximalis, OcS: Osteochondrose am Sagittalkamm, OcnS: Osteochondrose neben dem Sagittalkamm, Ed: Exostosen am Rand der distalen Facies, dorsal: gesamte Dorsalseite, z: zentral (inmitten), dz: dorsozentral (Mitte der Dorsalseite), dd: dorsodistal, dp: dorsoproximal, dm: dorsomedial, dl: dorsolateral, pm: palmomedial, pl: palmolateral, pz: palmozentral, o: ohne Befund, n.b*.: nicht bestimmbar wegen Exostosen und Nekrosen, bei den leeren Feldern waren die Knochen oder Knochenteile nicht vorhanden, fett gedruckte Lokalisationen bezeichnen besonders ausgeprägte Defekte.

Zur Lage der Defekte bitte auch Abb. 4.29 bis Abb. 4.32 beachten.

Die Tabellenergebnisse werden auch hier auf den Gelenkflächen dargestellt. Anweisungen zum Verständnis der Abbildungen können dem Untertitel der Abb. 4.25 entnommen werden.

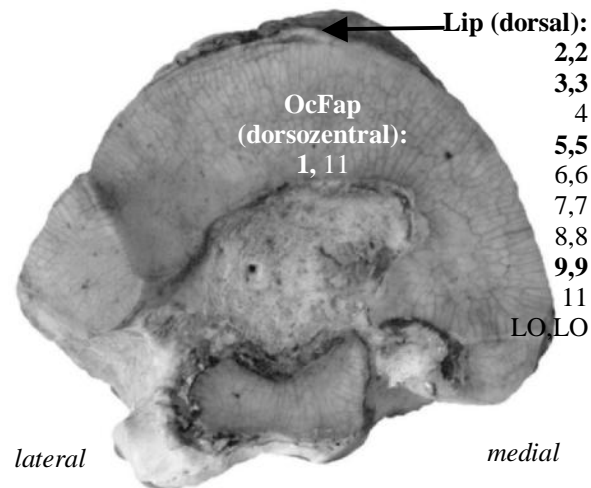


Abb. 4.29: Lipping und osteochondrale Abweichungen an der Facies articularis proximalis des Metatarsus. Das Lipping dorsal kommt häufig vor; nur zwei der bearbeiteten Pferde sind nicht betroffen. Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.

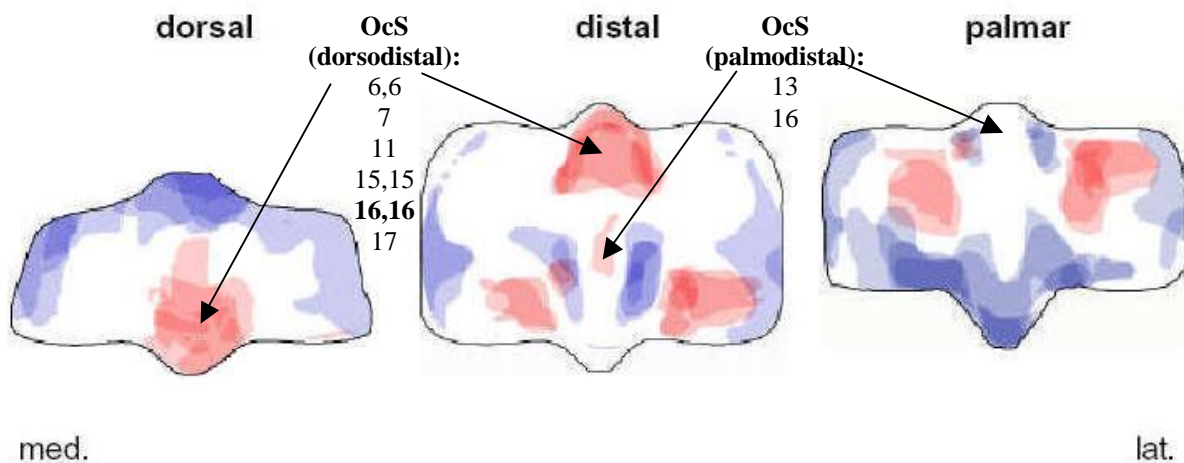


Abb. 4.30: Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Facies articularis distalis des Metatarsus (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert). Genau wie bei den Befunden am Metacarpus stimmen die Dichtemaxima der 0 bis 3 Monate alten Pferde (Schäfer 2001) mit der Anhäufung der Befunde im dorsodistalen Bereich überein (Abb. 4.26). Bei drei Individuen ist der Befund auf beiden Körperseiten zu finden. Die Dichtemaxima auf der Palmarseite der Metatarsen entsprechen ebenfalls den Abdrücken der Sesama bina (Abb. 9.1). Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.

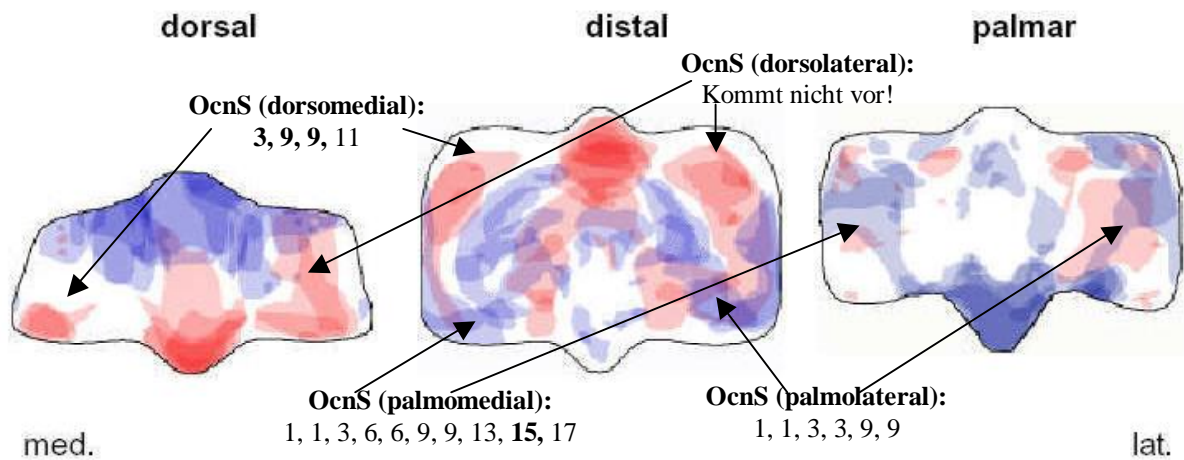


Abb. 4.31: Osteochondrale Schäden neben dem Sagittalkamm der Facies articularis distalis des Metatarsus (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).
Hier liegen nur einige wenige Abweichungen im oder nahe der Dichtemaxima der 4 Monate bis 2 Jahre alten Pferde vor.
Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.

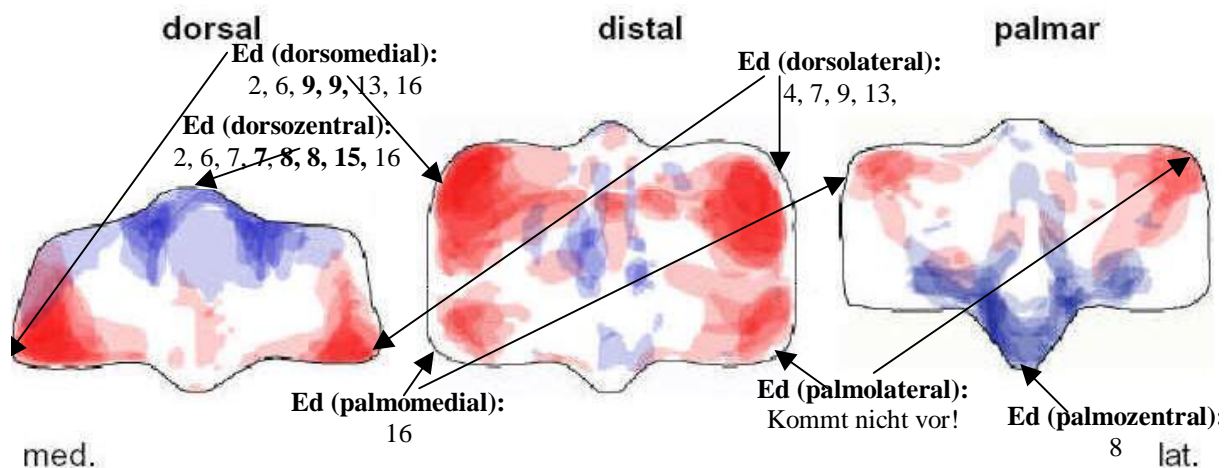


Abb. 4.32: Exostosen am Rand der Facies articularis distalis des Metatarsus (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).
Das Summationsbild der Dichtemaxima der 3 bis 6 Jahre alten Pferde zeigt einige Abweichungen im Bereich von Dichtemaxima. Exostosen dorsozentral kommen häufiger vor als bei den Metacarpen. Exostosen am palmaren Rand sind entgegen der Situation an den Metacarpen, kaum noch zu finden.
Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.

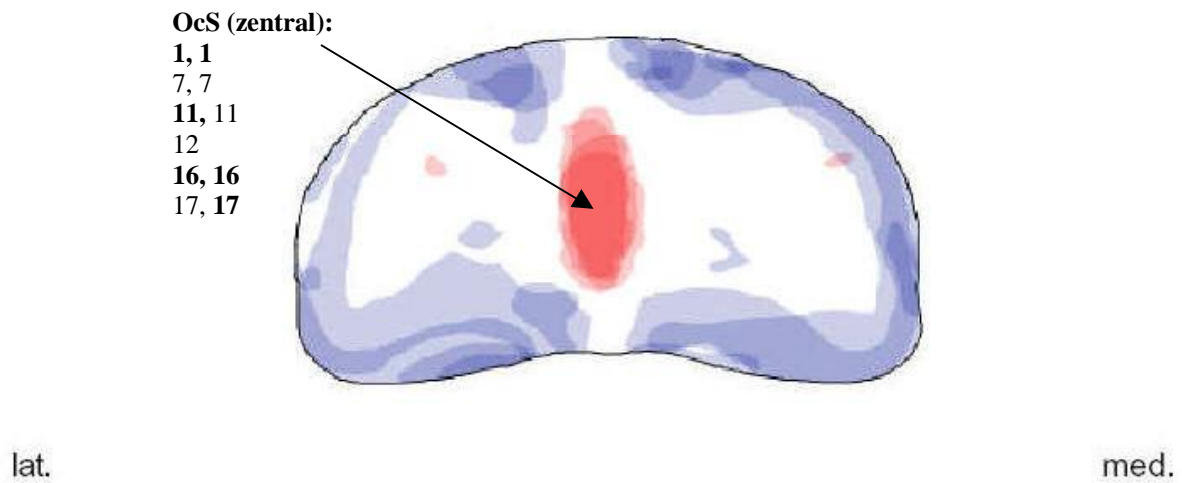
4.2.2.3. Phalanges

Ph1 ant.	OcS		OcnS		Ep	
	li	re	li	re	li	re
1	z	z	o	o	o	o
2	o	o	o	o	dm,dl	dm
3	o	o	o	o	dm	dm
4	o	o	dm	o	dm,dl,pm,pl	dm,dl,pm
5	o	o	o	o	dm	dm
6	o	o	o	o	dm,dl	dm,dl
7	z	z	o	o	dm,dl	dm,dl
8	o	o	o	o	dm,dl,pm,pl	dm,dl,pm,pl
9	o	o	mz	mz	dm,pm,pl	dm,pl
10						
11	z	z	dm	dm	dm	dm
12		z		dm		pm
13						
14						
15						
16	z	z	dm	o	dm	dm
17	z	z	dm	dm	dm	dm
LO	o	o	o	o	o	o
KT36	o	o	o	o	dm	dm
Ph1 post.	li	re	li	re	li	re
1	z	z	o	o	o	o
2	o	o	o	o	dm,dl,pm,pl	dm,dl,pm,pl
3	o	o	o	o	dm,pm	dm
4	z	z	o	o	dm,dl	dm,dl
5	o	o	lz	lz	o	o
6	z	z	o	o	dm,dl,pm,pl	dm,dl,pm,pl
7	z	z	o	o	dm,dl,	dm,dl
8	o	o	o	o	dm,dl,pm,pl	dm,dl,pm,pl
9	o	o	mz	mz	dm,pm,pl	dm,pm,pl
10						
11		o		o		pm,pl
12						
13	z		o		dm,dl,pm,pl	
14	o	o	o	o	o	o
15	o	z	o	o	dm	dm,dl
16	z	z	o	o	dm	dm
17	z	z	dm	dm,mz	dm	dm
LO	o	o	o	o	o	o
KT36	o	o	o	o	dm	o

Tab. 4.3: Osteochondrale Defekte und Exostosen an den Phalangen I.

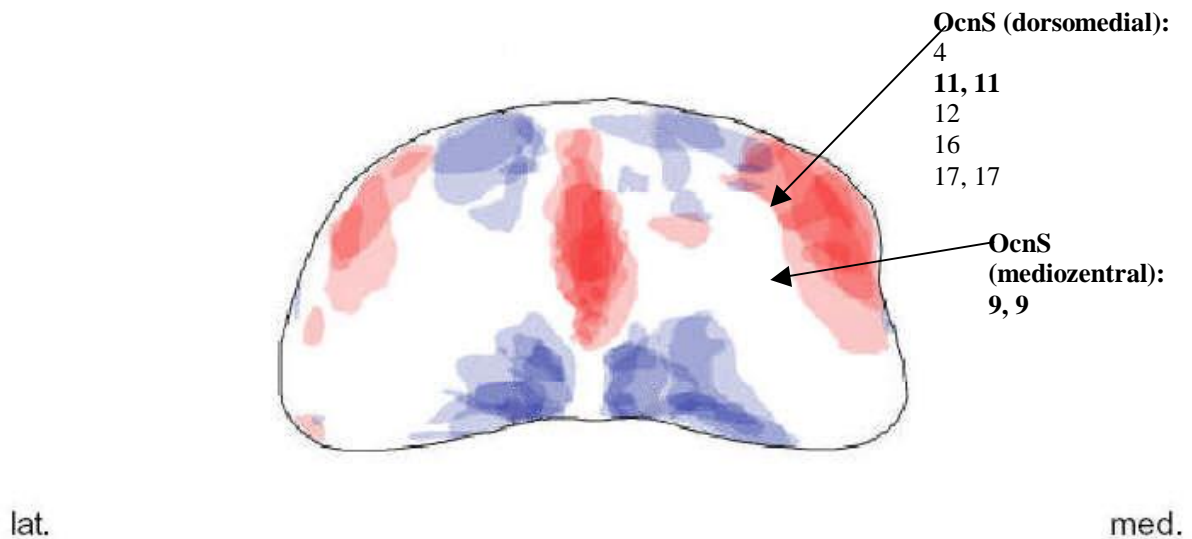
Diejenigen Defekte, die unzweifelhaft der Osteochondrose und Exostosen zuzuordnen sind, finden sich mit Lokalisationsangaben in der Tabelle. Ph1: Phalanx I, ant.: anterior, post.: posterior, li.: links, re.: rechts, OcS: osteochondraler Defekt in der Sagittalrinne, OcnS: osteochondrale Defekte neben der Sagittalrinne, Ep: Randexostosen an der Facies articularis proximalis, z: zentral, d: dorsal, p: palmar, m: medial, l: lateral, dm: dorsomedial, dl: dorsolateral, pm: palmomedial, pl: palmolateral, mz: mediozentral (an der medialen Seite mittig), lz: laterozentral (an der lateralen Seite mittig), o: ohne Befund, bei den leeren Feldern waren die Knochen nicht vorhanden, fett gedruckte Lokalisationen bezeichnen besonders ausgeprägte Defekte. Zur Lage der Defekte bitte auch Abb. 4.33 bis Abb. 4.38 beachten.

4.2.2.3.1. Phalanges anterior



*Abb. 4.33: Osteochondrale Schäden in der Sagittalrinne der Phalanges anterior
 (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).*

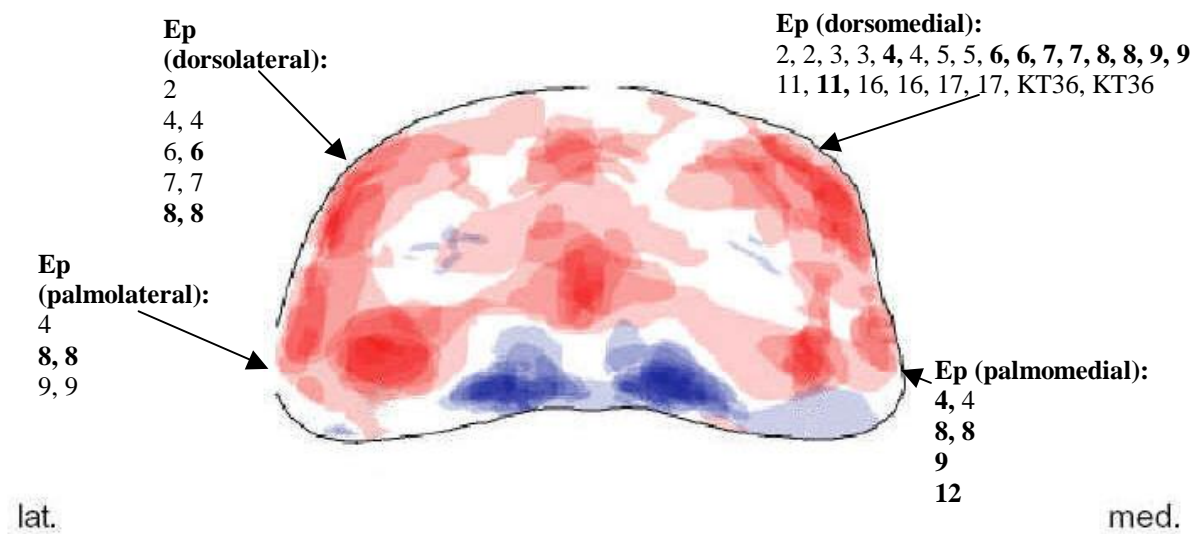
*Zentral in der Sagittalrinne der Phalanges befinden sich osteochondrale Schäden genau im Dichtmaximum der 0 bis 3 Monate alten Pferde. Es fällt ein beidseitiges Vorkommen der Schäden auf.
 Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.*



*Abb. 4.34: Osteochondrale Schäden neben der Sagittalrinne der Phalanges anterior
 (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).*

Nur im medialen Bereich und hier nicht an der Palmarseite kommen Befunde vor, die nahe dem medialen Dichtmaximum der 4 Monate bis 2 Jahre alten Pferde liegen. Sie sind in einigen Fällen auf beiden Körperseiten zu finden.

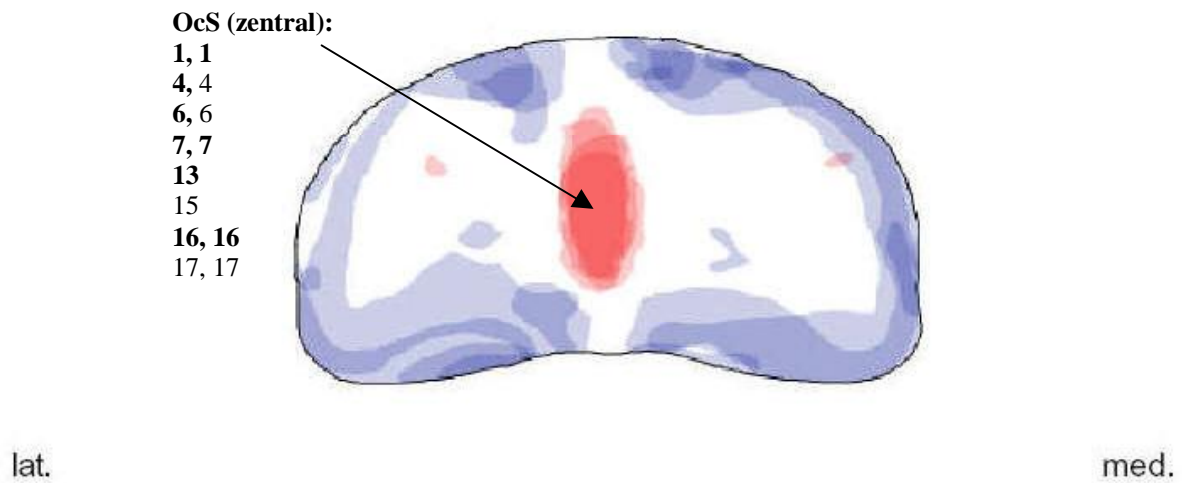
Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.



*Abb. 4.35: Exostosen am Rand der Facies articularis proximalis der Phalanges anterior
(Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).*

*In der Nähe aller im Summationsbild erkennbaren Dichtemaxima der 3 bis 6 Jahre alten Pferde kommen Randexostosen vor, fast immer auf beiden Körperseiten. Eine Anhäufung dorsomedial ist erkennbar.
Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.*

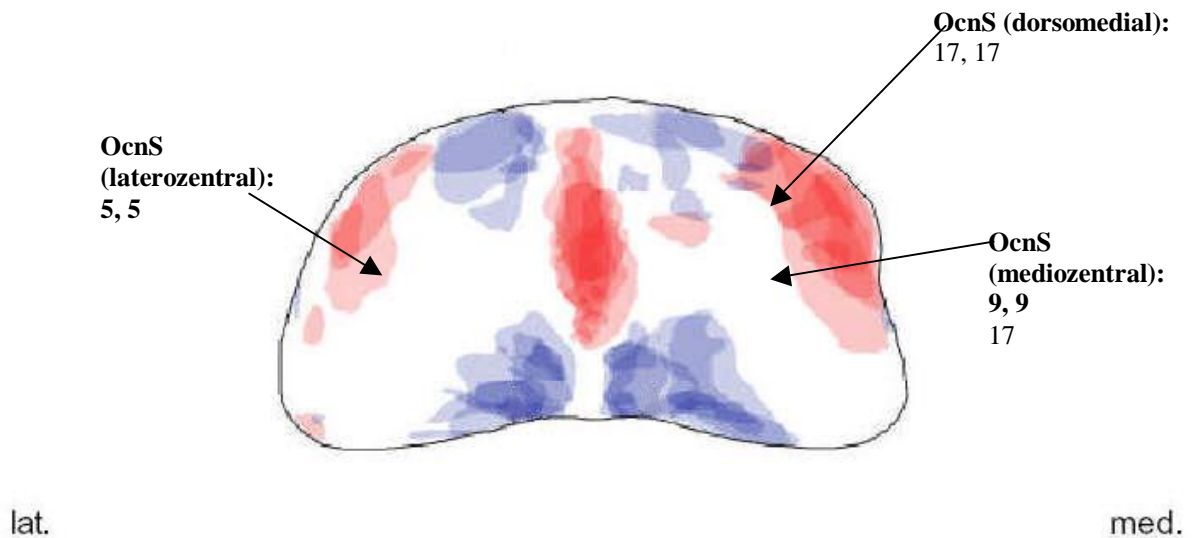
4.2.2.3.2. Phalanges posterior



*Abb. 4.36: Osteochondrale Schäden in der Sagittalrinne der Phalanges posterior
 (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).*

Zentral in der Sagittalrinne der Phalanges befinden sich ebenfalls osteochondrale Schäden genau im Dichtmaximum der 0 bis 3 Monate alten Pferde. Auch hier fällt, wie auch anterior, ein beidseitiges Vorkommen der Schäden auf.

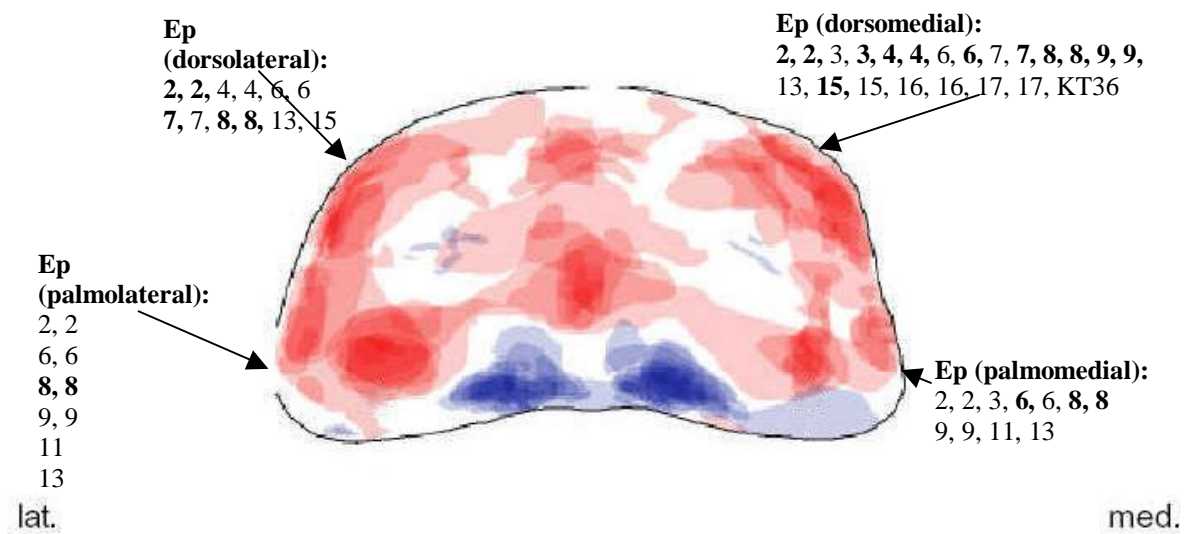
Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.



*Abb. 4.37: Osteochondrale Schäden neben der Sagittalrinne der Phalanges posterior
 (Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).*

An der Palmarseite kommen keine Befunde vor, ansonsten sind wenige Befunde nahe der Dichtemaxima der 4 Monate bis 2 Jahre alten Pferde zu finden.

Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.



*Abb. 4.38: Exostosen am Rand der Facies articularis proximalis der Phalanges posterior
(Abbildung nach Schäfer 2001, modifiziert).*

Wie auch anterior kommen in der Nähe aller im Summationsbild erkennbaren Dichtemaxima der 3 bis 6 Jahre alten Pferde Randexostosen vor, fast immer auf beiden Körperseiten. Ebenso ist auch eine Anhäufung dorsomedial ist erkennbar.

Zum Verständnis siehe Untertitel der Abb. 4.25.

4.2.3. Befundauswertung

Um sich die Entstehung von Defekten zu erklären, ist es nötig, Zusammenhänge verschiedener Befunde zu erkennen.

Wenn tatsächlich osteochondrale Befunde mit dem Bewegungsablauf und damit mit dem Gebäude der Pferde zusammenhängen sollten, müsste es Befunde geben, die sehr häufig auf den Gliedmaßen beider Seiten zu finden sind. Es ist zum Beispiel so, dass „weiche“ Fesselgelenke, also Gelenke, die stark federn, üblicherweise auf den Gliedmaßen beider Körperseiten vorkommen. Aus diesem Grund wird nach bilateralen Befunden gesucht.

Sollten sich ähnelnde Befunde bei vielen Individuen vorkommen, so haben wir es mit einer Schwachstelle zu tun. Es könnte es sich um eine „predeliction site“, einen bevorzugten Läsionsort, handeln. Wenn sich derartige Läsionsorte ermitteln lassen, wäre die Frage zu erläutern, ob diese Defekte wiederum andere Befunde nach sich ziehen. Hier könnten dann funktionale Zusammenhänge gegeben sein.

In der Auswertung geht es um Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen von Befunden überhaupt. Deswegen bleibt die Befundstärke, in den Tabellen bei sehr ausgeprägten Defekten fett gedruckt, unberücksichtigt.

Für die statistische Auswertung werden in einigen Fällen mehrere Befunde an verschiedenen Gliedmaßen eines Individuums als unabhängige Daten gesehen, weil es dann darum geht, ob ein Befund an einer bestimmten Stelle im Gelenk einen anderen Befund an einer weiteren Stelle in diesem Gelenk nach sich zieht. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Befund auf die Funktionalität des Gelenkes zurückzuführen ist und nicht auf seine Zugehörigkeit zu einem bestimmten Individuum.

Sofern Signifikanztests durchgeführt wurden, sind die Ergebnisse im Text besonders hervorgehoben: bei $p \leq 0,05$ als signifikant und mit * gekennzeichnet, bei $p \leq 0,01$ als sehr signifikant und mit ** gekennzeichnet und bei $p \leq 0,001$ als höchst signifikant ***.

4.2.3.1. Osteochondrale Schäden in der Sagittalrinne der Phalangen – Übereinstimmungen zwischen linker und rechter Gliedmaße

In 29 Fällen stehen die Phalangen beider Körperseiten zur Verfügung. Nur einmal kommt es vor, dass auf der Gliedmaße der einen Körperseite ein Riss in der Sagittalrinne der Phalanx erkennbar ist und auf der dazugehörigen Gliedmaße der anderen Körperseite nicht (grau unterlegt). In 28 Fällen ist die Befundsituation auf den Körperseiten gleich.

	OcS	
	li	re
	1	1
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	1	1
	0	0
	0	0
	1	1
	1	1
	1	1
	0	0
	0	0
	1	1
	0	0
	0	0
	1	1
	0	0
	1	1
	1	1
	0	0
	0	0
	0	0
	0	1
	1	1
	1	1
	0	0
	0	0
Anzahl/ges.	29	29
Anzahl/Bef.	11	12
Anzahl/o.B.	18	17
%Bef.	0,38	0,41
%o.B.	0,62	0,59
P(1/1)	0,16	
P(0/0)	0,36	
P(1/0)	0,22	
P(0/1)	0,26	
P(ges.)	1,00	
P(1/1)+P(0/0)	0,52	
P(1/0)+P(0/1)	0,48	

Tab. 4.4: Alle Phalangenpaare dieser Arbeit mit dem Vorkommen von osteochondralen Defekten in der Sagittalrinne.

(OcS aus Tab. 4.3, Lokalisationsangaben ersetzt durch 1: starker Defekt, 1: schwacher Defekt, 0: kein Befund, Befundstärke geht nicht in die Berechnungen ein). Grau unterlegt ist das einzige Paar, das keinen übereinstimmenden Befund zwischen linker und rechter Gliedmaßenseite aufweist.

Erläuterungen zu den unten berechneten Wahrscheinlichkeiten sind im Text von Kap. 4.2.3.1. vorhanden.

Wegen des unterschiedlichen Vorkommen von Befunden und Befundfreiheit ist die Chance für das Zusammentreffen gleicher und ungleicher Phalangen nicht 50% zu 50%. Folgende Überlegungen führen zu dem korrekten, bei zufälliger Verteilung anzunehmenden Testanteil:

Der Anteil an Phalangen mit einem Riss in der Sagittalrinne beträgt bei der linken Körperseite 38%, bei der rechten 41%. Ohne Befund sind bei der linken 62%, bei der rechten Körperseite 59%. $P(1/1)$ bezeichnet die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen einer Phalanx mit Riss der linken Körperseite mit einer Phalanx mit Riss der rechten Körperseite, usw..

Wären die Befunde auf den Phalangen zufällig, also unabhängig von der jeweils anderen Gliedmaße verteilt, so entspräche die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen einer Phalanx mit Befund mit einer Phalanx ohne Befund $P(1/0)+P(0/1)$: 48%. Dieses ist im Binomialtest der Testanteil. Tatsächlich sind es aber nur $1/29=3,44\%$ (grau unterlegt) im beobachteten Anteil.

Im vorliegenden Fall führt der Binomialtest von SPSS die Berechnungen nur in eine Richtung aus, d.h. es wird bestimmt, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass ungleiche Befunde der Phalangen beider Körperseiten 3% und weniger beträgt.

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Asymptotische Signifikanz (1-seitig)
typ	Gruppe 1	ungleich	1	,03	,48	,000 ^a
	Gruppe 2	gleich	28	,97		
	Gesamt		29	1,00		

a. Nach der alternativen Hypothese ist der Anteil der Fälle in der ersten Gruppe < ,48.

b. Basiert auf der Z-Approximation.

Tab. 4.5: Binomialverteilung.

Das Vorkommen ungleicher Befunde der Phalangenpaare beider Körperseiten in 3% und weniger der Fälle ist höchst signifikant***, da $p \leq 0,001$ (0,000). Es muss also davon ausgegangen werden, dass Risse in der Sagittalrinne fast immer auf beiden Körperseiten zu finden sind.

4.2.3.2. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metapodien – Übereinstimmungen zwischen linker und rechter Gliedmaße

Die Metapodien stehen in 28 Fällen von beiden Körperseiten zur Verfügung (von dem Grabungsindividuum LO ist der rechte Metacarpus nicht vorhanden). Nur zwei Mal kommt es vor, dass auf der Gliedmaße der einen Körperseite ein osteochondraler Schaden dorsodistal am Sagittalkamm des Metapodiums erkennbar ist und auf der dazugehörigen Gliedmaße der anderen Körperseite nicht. In 26 Fällen ist die Befundsituation auf den Körperseiten gleich.

	OcS	
	li.	re.
	1	1
	0	0
	0	0
	1	1
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	1	1
	1	1
	1	1
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	1	1
	0	1
	0	0
	0	0
	0	0
	1	1
	1	1
	1	0
	0	0
	0	0
Anzahl/ges.	28	28
Anzahl/Bef.	9	9
Anzahl/o.B.	19	19
%Bef.	0,32	0,32
%o.B.	0,68	0,68
P(1/1)	10,33	
P(0/0)	46,05	
P(1/0)	21,81	
P(0/1)	21,81	
P(ges.)	100	
P(1/1)+P(0/0)	56,38	
P(1/0)+P(0/1)	43,62	

Tab. 4.6: Alle Metapodienpaare dieser Arbeit mit dem Vorkommen von osteochondralen Defekten am Sagittalkamm.

(OcS aus Tab. 4.1 und Tab. 4.2, Lokalisationsangaben ersetzt durch 1: starker Defekt, 1: schwacher Defekt, 0: kein Befund, Befundstärke geht nicht in die Berechnungen ein). Grau unterlegt sind diejenigen Paare, die keinen übereinstimmenden Befund zwischen linker und rechter Gliedmaßenhälfte aufweisen. Erläuterungen zu den unten berechneten Wahrscheinlichkeiten sind im Text vorhanden (siehe Einführung in Kap. 4.2.3.1.).

Der Anteil an Metapodien mit Befund beträgt bei der linken Körperseite 32%, bei der rechten ebenfalls 32%. Ohne Befund sind bei der linken und rechten Körperseite demnach 68%. P(1/1) bezeichnet die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen eines Metapodiums mit dorsodistalem Befund der linken Körperseite mit einem Metapodium mit Befund rechten Körperseite, usw.. Wären die Befunde auf den Metapodien zufällig, also unabhängig von der jeweils anderen Gliedmaße verteilt, so entspräche die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen eines Metapodiums mit Befund mit einem Metapodium ohne Befund $P(1/0)+P(0/1)$: 44%. Dieses ist im Binomialtest der Testanteil.

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Asymptotische Signifikanz (1-seitig)
typ	Gruppe 1	ungleich	2	,07	,44	,000 ^a
	Gruppe 2	gleich	26	,93		
	Gesamt		28	1,00		

a. Nach der alternativen Hypothese ist der Anteil der Fälle in der ersten Gruppe < ,44.

b. Basiert auf der Z-Approximation.

Tab. 4.7: Binomialverteilung.

Tatsächlich sind es aber nur $2/28=7,14\%$ (grau unterlegt) im beobachteten Anteil. Auch hier (siehe auch Tab. 4.6) führt der Binomialtest von SPSS die Berechnungen in eine Richtung aus, d.h. es wird bestimmt, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass ungleiche Befunde der Metapodienpaare beider Körperseiten 7,14% und weniger beträgt.

Das Vorkommen ungleicher Befunde der Metapodienpaare beider Körperseiten in 7% und weniger der Fälle ist höchst signifikant***, da $p \leq 0,001$ (0,000). Es ist davon auszugehen, dass fast immer beide Metapodien dorsodistale Schäden am Sagittalkamm aufweisen.

4.2.3.3. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metapodien und in der Sagittalrinne der Phalangen – Zusammengehörigkeit beider Befunde

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen dem klassischen Osteochondrose-Befund dorsodistal am Sagittalkamm der Metapodien und einem Riss in der Sagittalrinne der Phalanx zu erkennen, werden die Metapodien mit ihren dazugehörigen Phalangen ausgewertet.

Von allen 60 vorhandenen Phalangen haben 25 einen Riss in der Sagittalrinne. Dieses entspricht einem Anteil von $25/60=42\%$. Dieser Anteil wird als Testanteil für die nun folgenden Binomialtests eingesetzt, da bei völlig unabhängiger Verteilung stets dieser Wert als möglich anzunehmen ist.

[illegible]

Tab. 4.8: Alle Metapodien mit Phalangen dieser Arbeit mit dem Vorkommen von osteochondralen Defekten am Sagittalkamm und in der Sagittalrinne.

(OcS aus Tab. 4.1, Tab. 4.2, Tab. 4.3, Lokalisationsangaben ersetzt durch 1: starker Defekt, 1: schwacher Defekt, 0: kein Befund, Befundstärke geht nicht in die Berechnungen ein). Grau unterlegt sind diejenigen Paare, die keinen übereinstimmenden Befund zwischen den beiden am Gelenk beteiligten Knochen aufweisen.

Erläuterungen zu den unten berechneten Werten sind im Text vorhanden (siehe Einführung in Kap. 4.2.3.1.).

4.2.3.3.1. Bei Metapodien ohne Defekt dorsodistal am Sagittalkamm:

Zunächst sind aus dem Untersuchungsmaterial 40 Metapodien vorhanden, die keinen osteochondralen Defekt dorsodistal am Sagittalkamm haben. Die dazu gehörigen Phalangen haben in nur 9 Fällen einen Riss in ihrer Sagittalrinne. Dieses entspricht einem beobachteten Anteil von $9/40=23\%$, der geringer ist als der Testanteil, der mit 42% den Anteil der defekten Phalangen an der Gesamtheit aller Phalangen wiedergibt. In diesem Fall führt der Binomialtest von SPSS die Berechnungen nur in eine Richtung aus, d.h. es wird bestimmt, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass bei befundfreien Metapodien der Anteil an Phalangen mit Befunden nur 23% und weniger beträgt.

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Asymptotische Signifikanz (1-seitig)
typ	Gruppe 1	mit Riß	9	,23	,42	,010 ^a
	Gruppe 2	ohne Riß	31	,78		
	Gesamt		40	1,00		

a. Nach der alternativen Hypothese ist der Anteil der Fälle in der ersten Gruppe < ,42.

b. Basiert auf der Z-Approximation.

Tab. 4.9: Binomialverteilung.

Das Vorkommen von Phalangen mit Rissen in der Sagittalrinne in 23% der Fälle und weniger bei befundfreien Metapodien ist sehr signifikant**, da $p \leq 0,01$ (0,01). Sind also die Metapodien befundfrei, so ist die Chance auf Befundfreiheit der dazugehörigen Phalangen groß.

4.2.3.3.2. Bei Metapodien mit Defekt dorsodistal am Sagittalkamm:

Zwanzig Metapodien haben einen osteochondralen Defekt dorsodistal am Sagittalkamm. Die dazugehörigen 20 Phalangen haben in 16 Fällen einen Riss in der Sagittalrinne. Dieses entspricht einem beobachteten Anteil von $16/20=80\%$, der größer ist als der Testanteil, der mit 42% den Anteil der defekten Phalangen an der Gesamtheit aller Phalangen wiedergibt s.o.. In diesem Fall führt der Binomialtest von SPSS die Berechnungen ebenfalls nur in eine Richtung aus, d.h. es wird bestimmt, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass bei Metapodien mit Befunden der Anteil an Phalanges mit Befunden 80% und mehr beträgt.

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Exakte Signifikanz (1-seitig)
typ	Gruppe 1	mit Riß	16	,80	,42	,001
	Gruppe 2	ohne Riß	4	,20		
	Gesamt		20	1,00		

Tab. 4.10: Binomialverteilung.

Das Vorkommen von Phalangen mit Rissen in der Sagittalrinne in 80% und mehr der Fälle bei dazugehörigen Metapodien mit Befunden ist höchst signifikant***, da $p \leq 0,001$ (0,001). Es ist also anzunehmen, dass Defekte dorsodistal am Sagittalkamm und Risse in der Sagittalrinne der Phalangen korreliert sind.

4.2.3.4. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metapodien – Übereinstimmung der Vorder- und Hintergliedmaßen

Von insgesamt zwölf Pferden sind die Metapodien vollständig vorhanden. Bei sieben Tieren ist die Befundsituation an allen vier Gliedmaßen gleich (grau unterlegt). Bei nur fünf Tieren gibt es eine unterschiedliche Befundlage.

OcS Pferd	Mc		Mt	
	li.	re.	li.	re.
1	1	1	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	1	1	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
16	1	1	1	1
17	1	1	1	0
KT36	0	0	0	0
Anzahl/ges.	12		12	
Anzahl/Bef.	4		4	
Anzahl/o.B.	8		8	
%Bef.	0,33		0,33	
%o.B.	0,67		0,67	
P(1/1)	0,11			
P(0/0)	0,44			
P(1/0)	0,22			
P(0/1)	0,22			
P(ges.)	1			
P(1/1)+P(0/0)	0,56			
P(1/0)+P(0/1)	0,44			

*Tab. 4.11: In jeweils einer Zeile befinden sich alle Metapodien eines Individuums dieser Arbeit mit dem Vorkommen von osteochondralen Defekten am Sagittalkamm.
(OcS aus Tab. 4.1, Tab. 4.2, Lokalisationsangaben ersetzt durch **1**: starker Defekt, 1: schwacher Defekt, 0: kein Befund, Befundstärke geht nicht in die Berechnungen ein). Grau unterlegt sind diejenigen Metapodien eines Individuums, bei denen an allen vier Gliedmaßen der gleiche Befund vorhanden ist. Erläuterungen zu den unten berechneten Wahrscheinlichkeiten sind im Text vorhanden (siehe Einführung in Kap. 4.2.3.1.).*

Der Anteil an Metacarpen mit Befund beträgt 33%, bei den Metatarsen sind es ebenfalls 33%. Ohne Befund sind entsprechend bei beiden Knochentypen 67%. P(1/1) bezeichnet die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen von befundtragenden Metacarpen mit befundtragenden Metatarsen, usw.. Wären die Befunde zufällig auf die verschiedenen Gliedmaßenpositionen verteilt, so entspräche die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen befundgleicher Knochen P(1/1)+P(0/0): 56%.

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Exakte Signifikanz (1-seitig)
befund	Gruppe 1	gleich	7	,583333	,560000	,555
	Gruppe 2	ungleich	5	,416667		
	Gesamt		12	1,000000		

Tab. 4.12: Binomialverteilung.

Dieses ist im Binomialtest der Testanteil. Der tatsächliche prozentuale Anteil an gleichen Befunden der vorderen und hinteren Gliedmaßen beträgt $7/12=58,3\%$.

Da der tatsächliche Anteil an gleichen Befunden größer ist als der Testanteil, berechnet SPSS die Irrtumswahrscheinlichkeit für das Vorkommen von 58% und mehr Befundgleichheit. Das Ergebnis ist nicht signifikant, da $p>0,5$ (0,555). Dieses Material liefert keine relevanten Belege für ein gehäuftes Vorkommen gleicher Befunde an vorderen und hinteren Gliedmaßen.

4.2.3.5. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm und Läsionen neben diesen Strukturen – Zusammenhänge

Bei 22 von 60 Metapodien kommen Defekte am Sagittalkamm vor (grau unterlegt). Das prozentuale Gesamtvorkommen beträgt demnach $22/60= \text{ca. } 37 \%$.

4.2.3.5.1. Bei Metapodien ohne Defekt dorsodistal am Sagittalkamm

Von diesen 60 vorhandenen Metapodien haben 40 keinen Defekt am Sagittalkamm. In 12 Fällen dieser 40 Metapodien befinden sich neben dem Sagittalkamm, also medial und lateral, Defekte. Bei 28 von den 40 am Sagittalkamm intakten Knochenindividuen fehlen neben dem Sagittalkamm ebenfalls pathologische Befunde.

	Mp			
	OcS	OcnS	OcS	OcnS
1	o	o	dd,dp	o
2	o	dm, pl	dd	o
3	o	o	dd	o
4	o	o	dd	o
5	o	pm,pl	dd	dm
6	o	o	dd	pm
7	o	dm,pm	pd	pm
8	o	o	dd	o
9	o	o	dd	o
10	o	pm,pl	dd	pm
11	o	o	dd	o
12	o	dm,pm,pl	dd	o
13	o	o	dd	dl
14	o	o	dd	o
15	o	o	dd	dm
16	o	o	dd	pm
17	o	dm,pm,pl	dd	o
18	o	o	dd	dm
19	o	o	dd	pm
20	o	o	dd,pd	d
21	o	o		
22	o	dl		
23	o	o		
24	o	o		
25	o	pm,pl		
26	o	o		
27	o	dm,pm,pl		
28	o	o		
29	o	o		
30	o	pm,pl		
31	o	o		
32	o	pl		
33	o	o		
34	o	o		
35	o	o		
36	o	dm,pm,pl		
37	o	o		
38	o	o		
39	o	o		
40	o	o		
ges. Anzahl	40		20	
B. OcnS	12		10	
o.B. OcnS	28		10	
%	30		50	

Tab. 4.13: Alle Metapodien dieser Arbeit mit dem Vorkommen von osteochondralen Defekten am Sagittalkamm und neben dem Sagittalkamm.

Grau unterlegt sind diejenigen Metapodien, die einen Defekt neben dem Sagittalkamm haben.

Erläuterungen zu den unten berechneten Wahrscheinlichkeiten sind im Text vorhanden (siehe Einführung in Kap. 4.2.3.1.). Zu den Befundangaben siehe Tab. 4.1 und Tab. 4.2.

Der Binomialtest wurde mit dem gerundeten Testanteil von 37% des Vorkommens von Defekten neben dem Sagittalkamm errechnet. Da der beobachtete Anteil geringer ist, muss gefragt werden, wie groß die Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen von Defekten neben dem Sagittalkamm bei Metapodien ohne Defekt am Sagittalkamm für 30% und weniger ist. Es ist keine Signifikanz nachweisbar, da $p > 0,5$ (0,226). Ein Ausbleiben von Defekten am Sagittalkamm hat anhand diesen Materials keine relevanten Auswirkungen auf das Vorkommen von Defekten neben dem Sagittalkamm.

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Asymptotische Signifikanz (1-seitig)
befund	Gruppe 1	B. OcnS	12	,30	,37	,226 ^a
	Gruppe 2	o.B. OcnS	28	,70		
	Gesamt		40	1,00		

a. Nach der alternativen Hypothese ist der Anteil der Fälle in der ersten Gruppe $< ,37$.

b. Basiert auf der Z-Approximation.

Tab. 4.14: Binomialverteilung.

4.2.3.5.2. Bei Metapodien mit Defekt dorsodistal am Sagittalkamm

20 der 60 Metapodien haben einen Defekt am Sagittalkamm. 10 dieser 20 Metapodien haben zuzüglich auch osteochondrale Defekte neben dem Sagittalkamm. Dieses entspricht einem beobachteten Anteil von 50%. Für das Auftreten von gleichzeitigen Defekten am und neben dem Sagittalkamm der Metapodien in 50 und noch mehr Prozent der Fälle ist keine Signifikanz nachweisbar, da $p > 0,05$ (0,165).

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Exakte Signifikanz (1-seitig)
befund	Gruppe 1	B. OcnS	10	,50	,37	,165
	Gruppe 2	o.B. OcnS	10	,50		
	Gesamt		20	1,00		

Tab. 4.15: Binomialverteilung.

Insgesamt scheinen demnach die klassischen Osteochondrose-Befunde dorsodistal am Sagittalkamm nicht mit Befunden auf den anderen Teilen der Gelenkfläche im Zusammenhang zu stehen.

4.2.3.6. Osteochondrale Schäden neben dem Sagittalkamm/ der Sagittalrinne – Zusammenhänge zwischen Phalangen und Metapodien

Zunächst fällt auf, dass bei den Phalangen der mediozentrale Bereich und auch der laterozentrale Bereich betroffen ist; bei den Metapodien ist der zentrale Bereich nicht betroffen.

MpOcnS	PhOcnS	MpOcnS	PhOcnS
o	o	dm, pl	o
o	o	pm,pl	o
o	dm	dm,pm	mz
o	o	dm	dm
o	o	pm,pl	o
o	o	dm,pm,pl	o
o	dm	pm	o
o	dm	dm,pm,pl	mz
o	o	pm	o
o	o	pm	dm
o	o	dl	o
o	o	pm,pl	o
o	lz	dm,pm,pl	mz
o	o	dl	dm
o	o	dm	dm
o	o	pm,pl	o
o	o	pl	o
o	o	pm	o
o	o	dm,pm,pl	mz
o	o	dm	o
o	o	pm	o
o	o	dm, dl	o
o	o		
o	o		
o	o		
o	o		
o	dm		
o	o		
o	o		
o	o		
o	o		
o	lz		
o	o		
o	o		
o	o		
o	dm,mz		
o	o		
o	o		
gesamt	38	gesamt	22
PhOcnS	7	PhOcnS	8
ohne	31	ohne	14
Anteil	18,4	Anteil	36,4

Tab. 4.16: Alle zu einem Gelenk gehörigen Metapodien und Phalangen dieser Arbeit mit dem Vorkommen von osteochondralen Defekten neben dem Sagittalkamm und der Sagittalrinne. Grau unterlegt sind diejenigen Knochenpaare, deren Phalangen einen Defekt neben der Sagittalrinne haben. Erläuterungen zu den unten berechneten Wahrscheinlichkeiten sind im Text vorhanden (siehe Einführung in Kap. 4.2.3.1.). Zu den Befundangaben siehe Tab. 4.1, Tab. 4.2, Tab. 4.3.

Von 60 Metapodien haben 38 keine osteochondralen Befunde neben dem Sagittalkamm. Die dazugehörigen Phalangen weisen in 7 Fällen Befunde neben der Sagittalrinne auf (grau unterlegt). Das Vorkommen von Befunden bei allen 60 Phalangen beläuft sich auf $15/60=25\%$ (Testanteil). Für das Vorkommen von Defekten bei Phalangen mit dazugehörigen befundfreien Metapodien in 18 und weniger Prozent der Fälle ist keine Signifikanz nachweisbar, da $p>0,05$ (0,227).

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Asymptotische Signifikanz (1-seitig)
befund	Gruppe 1	B. OcnS	7	,18	,25	,227 ^a
	Gruppe 2	o.B. OcnS	31	,82		
	Gesamt		38	1,00		

a. Nach der alternativen Hypothese ist der Anteil der Fälle in der ersten Gruppe $< ,25$.

b. Basiert auf der Z-Approximation.

Tab. 4.17: Binomialverteilung.

Von 60 Metapodien haben 22 osteochondrale Befunde neben dem Sagittalkamm. Die dazugehörigen Phalangen weisen in 8 Fällen Befunde neben der Sagittalrinne auf (grau unterlegt). Als Testanteil ist wiederum der Anteil an Phalangen mit Befunden von $15/60=25\%$ gültig. Für das Vorkommen von Phalangen mit Befunden bei Befund-Metapodien in 36 und mehr Prozent der Fälle ist keine Signifikanz nachweisbar, da $p>0,05$ (0,162).

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Exakte Signifikanz (1-seitig)
befund	Gruppe 1	B. OcnS	8	,36	,25	,162
	Gruppe 2	o.B. OcnS	14	,64		
	Gesamt		22	1,00		

Tab. 4.18: Binomialverteilung.

Bei osteochondralen Befunden neben dem Sagittalkamm und der Sagittalrinne im Fesselgelenk gibt es anhand diesen Materials keine Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Metapodien und Phalangen.

4.2.3.7. Osteochondrale Schäden neben der Sagittalrinne – Zusammenhänge zwischen linken und rechten Phalangen

Es liegen 29 Phalangenpaare vor. In 8 Fällen kommen Befunde vor, davon sind nur bei 2 Individuen die Befunde unilateral (grau unterlegt). Bei den 6 Individuen mit bilateralen Befunden fällt außerdem auf, dass nicht nur auf beiden Phalangen grundsätzlich Befunde vorkommen; auch die Bereiche auf der Gelenkfläche sind identisch.

	Phalangen OcnS	
	li	re
1	o	o
2	o	o
3	o	o
4	dm	o
5	o	o
6	o	o
7	o	o
8	o	o
9	mz	mz
10	dm	dm
11	dm	o
12	dm	dm
13	o	o
14	o	o
15	o	o
16	o	o
17	o	o
18	o	o
19	lz	lz
20	o	o
21	o	o
22	o	o
23	mz	mz
24	o	o
25	o	o
26	o	o
27	dm	dm,mz
28	o	o
29	o	o
Anzahl/ges.	29	29
Anzahl/Bef.	8	6
Anzahl/o.B.	21	23
%Bef.	0,28	0,21
%o.B.	0,72	0,79
P(1/1)	0,06	
P(0/0)	0,57	
P(1/0)	0,22	
P(0/1)	0,15	
P(ges.)	1,00	
P(1/1)+P(0/0)	0,63	
P(1/0)+P(0/1)	0,37	

Tab. 4.19: Alle Phalangenpaare (linke und rechte Gliedmaße) dieser Arbeit mit dem Vorkommen von osteochondralen Defekten neben der Sagittalrinne.

Grau unterlegt sind diejenigen Knochenpaare, die eine unterschiedliche Befundsituation auf den beiden Körperseiten aufweisen. Erläuterungen zu den unten berechneten Wahrscheinlichkeiten sind im Text vorhanden (siehe Einführung in Kap. 4.2.3.1.). Zu den Befund-Angaben siehe Tab. 4.3.

Der Anteil an Phalangen mit Befund beträgt bei der linken Körperseite 28%, bei der rechten 21%. Ohne Befund sind bei der linken Körperseite 72%, bei der rechten 79%. $P(1/1)$ bezeichnet die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen einer Phalanx mit Befund der linken Körperseite mit einer ebenfalls befundtragenden Phalanx der rechten Körperseite, usw.. Wären die Befunde auf den Phalangen zufällig, also unabhängig von der jeweils anderen Gliedmaße verteilt, so entspräche die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen einer Phalanx mit Befund mit einer Phalanx ohne Befund $P(1/0)+P(0/1)$: 37%. Dieses ist im Binomialtest der Testanteil. Tatsächlich sind es aber nur $2/29=6,9\%$ (grau unterlegt) im beobachteten Anteil. Auch hier führt SPSS die Berechnungen in eine Richtung aus, d.h. es wird bestimmt, wie groß die Irrtumswahrscheinlichkeit für ungleiche Befunde der Phalangenpaare beider Körperseiten in 6,9% und weniger % ist. Das Ergebnis ist höchst signifikant***, da $p \leq 0,001$ (0,000). Gemeinsame Befunde der linken und rechten Körperseite sind also für dieses Material relevant.

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Asymptotische Signifikanz (1-seitig)
befund	Gruppe 1	ungleich	2	,06	,37	,000 ^a
	Gruppe 2	gleich	29	,94		
	Gesamt		31	1,00		

a. Nach der alternativen Hypothese ist der Anteil der Fälle in der ersten Gruppe $< ,37$.

b. Basiert auf der Z-Approximation.

Tab. 4.20: Binomialverteilung.

4.2.3.8. Osteochondrale Schäden neben dem Sagittalkamm/ der Sagittalrinne – Zusammenhänge zwischen vorderen und hinteren Gliedmaßen

In 25 Fällen sind Phalangen oder Metapodien vollständig von Vorder- und Hintergliedmaßen vorhanden. Die Befundhäufigkeit an allen Hintergliedmaßen beläuft sich auf 8/25=32%.

In 17 Fällen sind die Vordergliedmaßen befundfrei. Die dazugehörigen Hintergliedmaßen haben in nur 3 Fällen Befunde (grau unterlegt). 14 sind also vollständig befundfrei.

OcnS	Ph1 ant.		Ph1 post.			Ph1 ant.		Ph1 post.	
Pferd	li	re	li	re	Pferd	li	re	li	re
1	o	o	o	o	4	dm	o	o	o
2	o	o	o	o	9	mz	mz	mz	mz
3	o	o	o	o	16	dm	o	o	o
5	o	o	lz	lz	17	dm	dm	dm	dm,mz
6	o	o	o	o					
7	o	o	o	o					
8	o	o	o	o					
LO	o	o	o	o					
KT36	o	o	o	o					
	Mc		Mt			Mc		Mt	
	li.	re.	li.	re.		li.	re.	li.	re.
1	o	o	pm,pl	pm,pl	3	dm, pl	dl	dm,pm,pl	pl
2	o	o	o	o	7	pm,pl	pm,pl	o	o
4	o	o	o	o	9	dm,pm	dm,pm,pl	dm,pm,pl	dm,pm,pl
5	o	o	o	o	17	dm	dm	pm	o
6	o	o	pm	pm					
8	o	o	o	o					
16	o	o	o	d					
KT36	o	o	o	o					

Tab. 4.21: Alle vier Phalangen und Metapodien eines Individuums dieser Arbeit mit dem Vorkommen von osteochondralen Defekten neben dem Sagittalkamm und der Sagittalrinne.

Grau unterlegt sind diejenigen Knochen eines Individuums, deren hintere Gliedmaßen Befunde tragen. Erläuterungen zu Befundangaben sind den Tab. 4.1, Tab. 4.2, Tab. 4.3 zu entnehmen.

Für das Vorkommen von Befunden an den Hintergliedmaßen bei befundfreien Vordergliedmaßen in 18 und weniger % der Fälle ist keine Signifikanz nachweisbar, da $p > 0,05$ (0,156).

Test auf Binomialverteilung

		Kategorie	N	Beobachteter Anteil	Testanteil	Exakte Signifikanz (1-seitig)
befund	Gruppe 1	Befund hi	3	,18	,32	,156 ^a
	Gruppe 2	ohne Befund hi	14	,82		
	Gesamt		17	1,00		

a. Nach der alternativen Hypothese ist der Anteil der Fälle in der ersten Gruppe < ,32.

Tab. 4.22: Binomialverteilung.

Demnach kann bei diesem Material keine Signifikanz für eine Verbindung der osteochondralen Schäden neben dem Sagittalkamm oder der Sagittalrinne an vorderen und hinteren Gliedmaßen gezeigt werden.

Für die vorderen 8 Gliedmaßenknochen mit Befunden ist ein Signifikanztest aufgrund der geringen Stichprobenzahl nicht zweckmäßig.

4.2.3.9. Osteochondrose der Halswirbel und osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metapodien/ in der Sagittalrinne der Phalangen – Zusammenhänge zwischen weit auseinanderliegenden Läsionsorten

Pferd	Mc li.	Ph ant li	Mc re.	Ph ant re	Mt li.	Ph post li	Mt re.	Ph post re	HWS MW
1	dd,dp	z	dd	z	o	z	o	z	2
5	o	o	o	o	o	o	o	o	2
6	o	o	o	o	dd	z	dd	z	1
7	o	z	o	z	o	z	dd	z	1
8	o	o	o	o	o	o	o	o	1
9	o	o	o	o	o	o	o	o	2
10									1
11	dd	z	dd	z			dd	o	3
LO	o	o		o	o	o	o	o	0
KT36	o	o	o	o	o	o	o	o	0

Tab. 4.23: Alle Individuen dieser Arbeit, deren Halswirbelsäule untersucht wurde, mit ihren Defekten an der Sagittalrinne(-kamm) der Metapodien und Phalangen.

Grau unterlegt sind die Felder bei der Halswirbelsäule ab der Befundstärke 2 (HWS MW = Mittelwert aus den Befunden an der Halswirbelsäule). Das sind auch die klinisch auffälligen Tiere.

Bei den Metapodien und Phalangen sind alle Felder grau unterlegt, die Befunde aufweisen.

Erläuterungen zu Befundangaben sind den Tab. 4.1, Tab. 4.2, Tab. 4.3 sowie für die Halswirbelsäule der Tab. 5.1 zu entnehmen.

Osteochondrale Schäden der Halswirbelsäule kommen bei allen Individuen vor (Kap. 5.2.2. , S. 122 ff.). Die Halswirbelsäule ist bei 10 Individuen vorhanden. 4 Tiere sind klinisch auffällig bezüglich der spinalen Ataxie gewesen (Individuennummern grau unterlegt). Diese 4 Tiere haben auch einen höheren Mittelwert der Schadensindices (HWS MW, in der Tabelle rechts, errechnet aus allen Schadensintensitäten, siehe Tab. 5.1). 2 der klinisch auffälligen Tiere sind in der Sagittalrinne der Phalangen und am Sagittalkamm der Metapodien völlig befundfrei. Die beiden anderen klinisch auffälligen Pferde haben dort Befunde. Bei zwei der sechs klinisch unauffälligen Tiere sind Abweichungen an den Fesselgelenken vorhanden.

Anhand dieser für diese Untersuchung zu geringen Stichprobenzahl kann kein Zusammenhang zwischen den Befunden der HWS und an den Fesselgelenken festgestellt werden.

4.2.3.10. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metatarsen/ in der Sagittalrinne der hinteren Phalangen und Lipping- Erscheinungen dorsal an der Facies articularis proximalis der Metatarsen – Zusammenhänge

Pferd	Mt li.	Ph post. li	Lip li.	Mt re.	Ph post. re	Lip re.
1	o	z	o	o	z	o
2	o	o	d	o	o	d
3	o	o	d	o	o	d
4	o	z	o	o	z	d
5	o	o	d	o	o	d
6	dd	z	d	dd	z	d
7	o	z	d	dd	z	d
8	o	o	d	o	o	d
9	o	o	d	o	o	d
11				dd	o	d
LO	o	o	d	o	o	d
KT36	o	o	o	o	o	o

Tab. 4.24: Alle Phalangen der hinteren Gliedmaße und die dazugehörigen Metatarsen mit ihren Defekten an der Sagittalrinne und dem Sagittalkamm und dem Vorkommen von Lipping-Erscheinungen an der Facies articularis proximalis der Metapodien.

Grau unterlegt sind diejenigen Felder, die Befunde tragen.

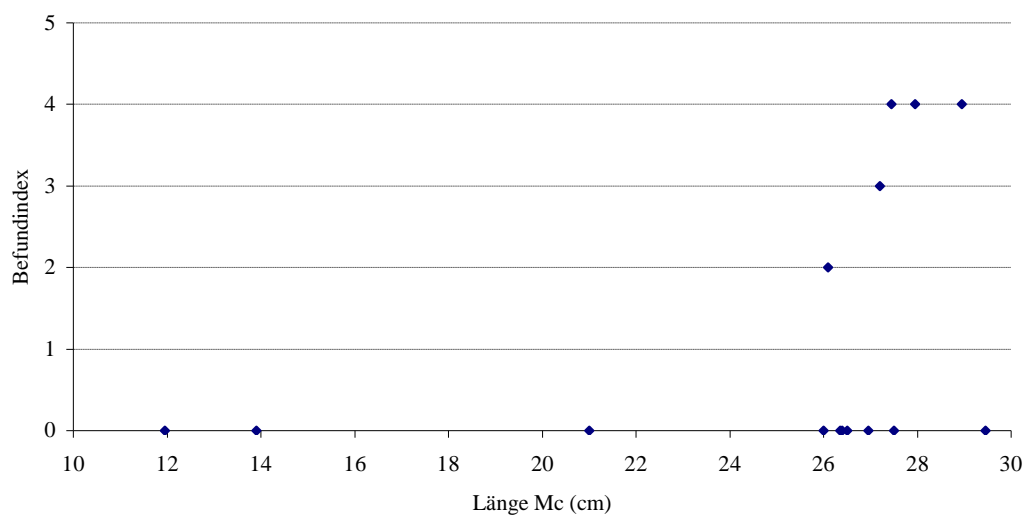
Erläuterungen zu Befundangaben sind den Tab. 4.1, Tab. 4.2, Tab. 4.3 zu entnehmen.

Lediglich 2 von 12 Pferden (1 und KT36) haben keine Lipping-Erscheinungen dorsal an der Facies articularis proximalis der Metatarsen. Diese Abweichung erscheint somit fast obligatorisch. Eines der beiden vom Lipping nicht betroffenen Tiere hat gleichzeitig Schäden in der Sagittalrinne der Phalangen, das andere, übrigens ein Ausgrabungspferd, nicht. Ein Pferd, Nr. 4, hat das Lipping nur auf einer Seite. Die 17 Lipping-tragenden Metatarsen der anderen Pferde haben an der betroffenen Gliedmaßen nur in 4 Fällen auch einen Riss in der Sagittalrinne der Phalangen.

Anhand diesen Materials ist also keine Tendenz zu einer Kopplung beider Befunde zu erkennen.

4.2.3.11. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metacarpen in Abhängigkeit von der Länge der Metacarpen

Für die folgende Darstellung werden diejenigen Individuen verwendet, deren beide Metacarpen vorhanden sind. Bei stärker ausgeprägtem Befund vergeben wir eine Zwei, bei weniger starkem Befund eine Eins, bei Befundfreiheit eine Null. Die Werte beider Metacarpen werden gemittelt und ergeben den Befundindex. Dieser ist in Bezug zur Länge der Metacarpen dargestellt.

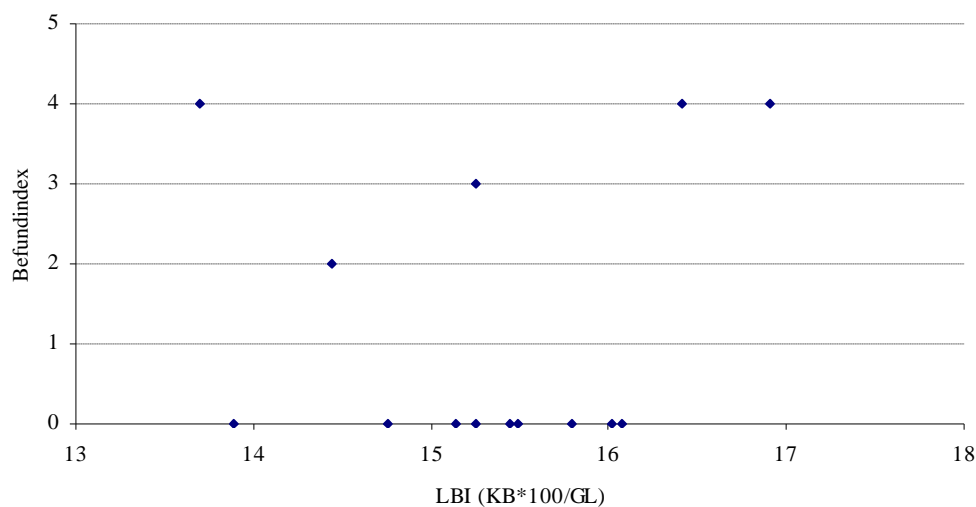


*Dia. 4.1: Länge der Metacarpen in Abhängigkeit zu Befunden am Sagittalkamm.
Abszisse: Größte Länge (v.d. Driesch 1976) der Metacarpen (Messstrecke siehe Abb. 11.1),
Ordinate: Befundindex, aus den Werten für die Befunde unter Berücksichtigung der Befundstärke gemittelt.*

Nur drei der fünfzehn Individuen weisen eine größte Länge (v.d. Driesch 1976) von unter 25 cm auf, zwei davon sind Ausgrabungspferde. Von den übrigen zwölf Pferden, die sich mit der Metacarpuslänge zwischen 25 und 30cm bewegen, haben fünf Befunde. Bei den fünf Tieren handelt es sich um die Individuen 1, 4, 11, 16 und 17.

4.2.3.12. Osteochondrale Schäden am Sagittalkamm der Metacarpen in Abhängigkeit vom Längenbreiten-Index

Für diese Darstellung werden ebenfalls diejenigen Individuen verwendet, die schon in Kap. 4.2.3.11. (S. 88 ff.) die Datengrundlage bildeten. Es sind auch dieselben Befundindices für die Metacarpen enthalten. Der Längenbreiten-Index ist ein Maß für die Breitwüchsigkeit stellt den prozentualen Anteil der kleinsten Breite der Diaphyse an der größten Länge dar (siehe auch Kap. 11.3.2. , S. 210 ff.).



*Dia. 4.2: Längenbreitenindex der Metacarpen in Abhängigkeit zu Befunden am Sagittalkamm.
Abszisse: Längenbreitenindex (LBI) der Metacarpen: Kleinste Breite der Diaphyse * 100/ Größte Länge (Maße nach v.d. Driesch 1976, siehe Kap. 11.1.1. , S. 200 ff.),
Ordinate: Befundindex, aus den Werten für die Befunde unter Berücksichtigung der Befundstärke gemittelt.*

Die fünf Pferde mit Befundindices abweichend von Null verteilen sich über das gesamte Spektrum der Längenbreiten-Indices. Anhand diesen Materials ist keine Tendenz zu einer Abhängigkeit von der Breitwüchsigkeit zu erkennen.

4.3. Diskussion

4.3.1. Die Befunde dorsodistal am Sagittalkamm könnten eine Vorstufe zu Dissekaten sein

Häufig beruhen Untersuchungen zur Osteochondrose auf röntgenologischen Studien. Bei der Osteochondrose im Fesselgelenk werden Standard-Befunde, so auch Dissekate, oft dorsal angetroffen (Reininghaus 2003). Im Röntgenbild stellen sich diese Dissekate als isolierte Verschattungen dar und sind dort leicht zu erkennen.

Sie scheinen in enger Beziehung zu im Röntgenbild sichtbaren Konturveränderungen am Sagittalkamm der Metapodien zu stehen (Heinz 1993). Die Konturveränderungen entsprechen dem in dieser Arbeit festgestellten Befund dorsodistal am Sagittalkamm. Bisher war von der Möglichkeit gesprochen worden, dass die Befunde am Sagittalkamm eine Folge von Dissekaten seien (Kirchner 1996). Genau umgekehrt wurde auch diskutiert, dass es sich um Vorstufen zu Dissekaten handeln könne (Heinz 1993, Kroll 1999).

Die Konturveränderungen der vorliegenden Arbeit sind oft nur von Rissen geprägt, ohne dass der Eindruck eines Materialverlustes vorliegt. Nach dem Eindruck, der am mazerierten Knochen gewonnen werden konnte, dürften die Konturveränderungen eher die Vorstufe zu Dissekaten darstellen, wobei eine Absprengung des Materials wohl nicht grundsätzlich erfolgt. Dazu bedarf es offenbar einer sehr umfangreichen Umschreibung des abzusprengenden Knochenteiles durch Risse.

4.3.2. Die tatsächliche Osteochondrose-Häufigkeit liegt über den Angaben aus röntgenologischen Studien

Bei den schwächer ausfallenden Konturveränderungen des hier vorliegenden Materials könnten Zweifel bestehen, ob diese in einer Röntgen-Studie an lebenden Individuen, bei der das gelenknahe, sehr feste Gewebe auch noch vor dem Knochen ist und sicherlich zur Strahlendichte beiträgt, überhaupt feststellbar gewesen wären.

Konturveränderungen am Sagittalkamm der Metapodien zeichnen sich vermehrt mit zunehmendem Alter ab (Kirchner 1996). Dafür spricht auch, dass sich die subchondrale Knochendichte bis ca. zum zwölften Lebensjahr erhöht (Schäfer 2001). Die Konturveränderungen stellen sich bei unserem Material in deutlichen Einrissen und Materialtrennungen dar. Das bedeutet, dass es Zonen mit Knochensubstanz, ohne Substanz und mit wenig Substanz gibt. Bei Erhöhung der Knochendichte mit dem Altersgang würden sich Zonen mit Knochensubstanz gegenüber Zonen ohne Substanz, wie z.B. in einem Riss, deutlicher voneinander absetzen.

Es spricht also einiges dafür, dass in röntgenologischen Studien nur die „Spitze“ des Eisberges an Osteochondrose-Befunden erfasst wird und das wahre Ausmaß um einiges größer ist.

4.3.3. Ein Riss in der Sagittalrinne der Phalangen ist mit dem klassischen Befund dorsodistal am Sagittalkamm gekoppelt

Mit der vorliegenden Studie ist ein Zusammenhang des klassischen Osteochondrose-Befundes am Sagittalkamm der Metapodien mit einem Einriss in der Sagittalrinne der Phalangen als sicher anzunehmen. Dennoch ist dieser Riss in der Sagittalrinne bisher nicht als klassischer Osteochondrose-Befund beschrieben worden.

Möglicherweise ist der Riss so in die trabekulären Strukturen integriert, dass er in röntgenologischen Studien nicht zum Standard-Befund werden konnte. Dieses ist z.B. in der Arbeit von Reininghaus der Fall (Reininghaus 2003), bei der immerhin die Aufnahmen von 630 Fohlen und 596 Müttern die Grundlage bildeten. Auf den Röntgenaufnahmen des Fesselgelenkes ist auch zu sehen, dass der Bereich, in dem der Einriss in der Sagittalrinne sich befindet, sehr strahlendicht ist, so dass es kaum möglich erscheint, einen solchen Einriss röntgenologisch auszumachen. Als Beispiel sei hier die Standard-Aufnahme im lateromedialen Strahlengang genannt (Abb. 4.39).



Abb. 4.39: Röntgenabbildung des Fesselgelenkes.

Die proximale Facies articularis der Phalanx I bildet sich sehr hell ab. Der Knochen dürfte im Bereich der Gelenkfläche sehr dicht sein. Die Phalanx ist in demjenigen Bereich, in dem sich der Riss in der Sagittalrinne befinden würde, sehr breit. Die Röntgenaufnahme bildet alle Schichten ab. Hier könnten die Gründe für das „Nicht-Erkennen“ eines Risses in der Sagittalrinne liegen, der sehr häufig sein dürfte.

4.3.4. Der klassische Osteochondrose-Befund dorsodistal am Sagittalkamm der Metapodien kann ein Produkt von Überbelastungen sein

Da es, wie oben dargelegt, nicht möglich war, den Befund dorsodistal am Sagittalkamm als mit einem Riss in der Sagittallrinne gekoppelt zu erkennen, ist es verständlich, dass ein Zusammenhang der bisherigen klassischen Befunde mit Belastungen, denen die Gelenkflächen ausgesetzt sind, nur selten in Betracht gezogen wurde.

Durch die vorliegende Arbeit wurde nun der Zusammenhang beider Defekte belegt, und folgende Überlegung, basierend auf der Kenntnis der Lagen der Abweichungen, ist sinnvoll:

Legt man ein Metapodium mit dorsodistalem Defekt am Sagittalkamm so mit seiner distalen Gelenkfläche in die proximale Gelenkfläche der Phalanx mit zentralem Rissdefekt, dass beide Defekte übereinander liegen, so ergibt sich ziemlich genau die Position, die in der Hyperextensionsphase, also im Moment des Einfederns nach dem Aufsetzen des Beines in craniale Richtung, eingenommen wird (Abb. 4.40). Dieses spricht für einen unmittelbaren Zusammenhang mit dem Federungsmechanismus.

Die Lage der Defekte im sagittalen Bereich entspricht sowohl auf den Metapodien als auch auf den Phalangen den Druckmaxima der 0-3 Monate alten Pferde (Abb. 4.26, Abb. 4.30, Abb. 4.33, Abb. 4.36). Da die Druckmaxima eine direkte Folge von Belastungen sind, ist somit ein Zusammenhang mit den während des Federns entstehenden Drücken gegeben.

Die Osteochondrose entsteht zudem hauptsächlich in den ersten Lebensmonaten (Hertsch, Kroll 1999, Kroll 1999, Kroll et al. 2001, Rooney 1975), also dann, wenn auch die Druckmaxima in den sagittalen Bereichen vorhanden sind.

Die eben aufgeführten Zusammenhänge könnten, kämen sie nur gelegentlich vor, zufällig sein. Logische Überlegung führt jedoch entschieden zu der Überzeugung eines Zusammenhanges mit Überbelastungen, speziell im Fesselgelenk erzeugt durch den Federungsmechanismus.

Ein Blick auf die Knochen aus Ausgrabungen, die nicht über einen klassischen Osteochondrose-Befund am Sagittalkamm verfügen, beweist entsprechend, dass der Mensch bis heute einen starken Federungsmechanismus herausgezüchtet haben muss. Besonders in Dressur-Zuchtlinien ist kaum noch ein Pferd ohne den dadurch erzeugten Schwung in der Bewegung zu vermarkten. Entsprechend gibt es kaum noch Pferde in der Reitpferdezucht, die nicht über ein gegenüber z.B. Steppenpferden der Mongolei verstärkten Federungsmechanismus verfügen.



Abb. 4.40: Stellung in der Hyperextensionsphase.

Diese Phase wird in den schnelleren Gangarten Trab und Galopp unmittelbar nach dem Aufsetzen erreicht. Genau dann liegen auch die Defekte dorsodistal am Sagittalkamm der Metapodien und zentral in der Sagittalrinne der Phalangen übereinander. Bedenkt man den aus der Bewegung „mitgebrachten“ Schub, so wird verständlich, dass der dorsodistale Teil des Sagittalkammes der Metapodien sich in den zentralen Teil der Phalanx „drückt“ (Pfeile). Siehe dazu auch Abb. 4.15 und Abb. 4.17.

4.3.5. Kleinere Pferde haben bessere Chancen auf gesunde Fesselgelenke

Sicherlich gab es auch schon bei Pferden aus archäologischen Grabungen aufgrund der natürlichen Variation Individuen mit ausgeprägteren Federungsmechanismen. Dennoch sind dort Befunde, wie sie in den sagittalen Bereichen der Metapodien und Fesselgelenke der heutigen Pferde vorkommen, nicht anzutreffen.

Pferde aus Ausgrabungen sind kaum größer als unsere heutigen Ponies, deren Widerristhöhe (WRH) in Deutschland bis 1,48m beträgt. Weiterhin kommt bei den heutigen Ponies die Osteochondrose nur selten vor (Bruns 2001).

Dennoch ist es sicher, dass der Zuchtfortschritt auch bei unseren Ponies ein beachtliches Gangvermögen hervorgebracht hat. Einige hochveranlagte Ponies können sich in ihrer Bewegungskapazität durchaus mit den „Stars“ der Großpferdeszene messen. Folglich führt wahrscheinlich erst eine gewisse „Mindestgröße“ zuzüglich zu ausgeprägten Federungsmechanismen zur tatsächlichen Ausprägung einer Osteochondrose. Da es sich bei der Osteochondrose um eine Erkrankung handelt, die im Fohlenalter entsteht, handelt es sich bei der Mindestgröße also um die Größe von Fohlen, was den Unterschied zwischen Großpferd und Pony auch nicht schmälern dürfte.

Weshalb also kann der Federungsmechanismus bei großen Pferden zur Osteochondrose führen und bei kleinen hingegen nicht?

Der Vorgang des Einfederns ist ein passiver Prozess (Witte et al. 1995b). Der sich in Bewegung befindende Körper verbirgt eine wohl für diesen Vorgang entscheidende Kraft, nämlich die der Massenträgheit. Trägheit bedeutet, dass der Körper, sofern er nicht gebremst wird, in seinem Bewegungszustand verharrt. Die Trägheit ist umso größer, je höher die Masse ist. Also müssen die „bremsenden Kräfte“ zum Abfangen der Masse auch umso größer sein, je größer die Masse ist. In dem Stadium der Entwicklung, in dem die Osteochondrose des sagittalen Bereiches entsteht, wird diese Masse genau dort im sagittalen Bereich abgefangen, in dem die Knorpeldicke am geringsten ist (Schäfer 2001). Da in diesem Bereich bei einem kleinen sowie einem großen Pferd die durch den Federungsmechanismus entstehende Belastung auf eine kleine Fläche konzentriert wird, ist der Druck ($=\text{Kraft}/\text{Fläche}$) auf diese Fläche bei dem großen Tier ungleich größer.

Durch diese Überlegungen, deren genauere Spezifikation nicht Gegenstand dieser Arbeit sein kann, müsste die Begründung für das mangelnde Osteochondrose-Aufkommen bei Kleinpferden und Ponies in deren geringerer Körpermasse liegen.

4.3.6. Schlanke, leichte Fohlen federn besser und haben häufiger Osteochondrose im Fesselgelenk

Eine Abhängigkeit von der Breitwüchsigkeit ist bei dem Material der vorliegenden Arbeit nicht nachweisbar. Zum Einen ist der Stichprobenumfang dazu sicherlich zu gering und zum Anderen entsteht die Osteochondrose im Fohlenalter. Breitwüchsigkeit und Gewicht können in diesem Alter von den Werten im Erwachsenenalter deutlich abweichen. So ist es diesbezüglich ein Nachteil, dass die vorliegende Arbeit auf Untersuchungen an adulten Pferden beruht.

Bislang ging man davon aus, dass wüchsige Fohlen mit hoher Gewichtszunahmen vermehrt an Osteochondrose erkranken (Hoppe 1984, Jeffcott 1991, Strømberg 1979). Eine Untersuchung zur Abhängigkeit der Osteochondrose u.a. von Wachstumsparametern an immerhin 624 Fohlen aus dem Jahre 2001 konnte diese Annahme für das Sprunggelenk bestätigen, nicht aber für das Fesselgelenk (Wilke 2003).

Bei diesem großen Stichprobenumfang konnte nachgewiesen werden, dass leichte Fohlen mit geringem Röhrbeinumfang (geringe Breitwüchsigkeit) häufiger von Osteochondrose im Fesselgelenk betroffen sind.

Das Ergebnis könnte ein Hinweis auf eine Beteiligung des Federungsmechanismus sein. Betrachtet man das Laufverhalten schwerer Kaltblüter im Trabe, so ist schnell zu erkennen, dass das spektakuläre federnde Laufverhalten im Trabe, wie wir es bei den modernen Warmblutrassen finden, nicht vorhanden ist. Die Tatsache, dass man auch bei den Kaltblütern mittlerweile auf einen federnden Gang achtet, ändert nichts daran, dass Bewegungen wie bei den Warmblutrassen nicht erreicht werden können.

4.3.7. Federungsmechanismus bei anderen Tieren

Auch ein Blick auf das Laufverhalten anderer Tiere kann hilfreich sein. Ein Elefant, Nashorn oder Flusspferd wird sich in schnelleren Gangarten nie so elegant und federnd fortbewegen wie ein Reh oder eine Gazelle. Lange, schlanke Gliedmaßen sind offenbar für eine starke Federung Voraussetzung. Man stelle sich dazu ein Gummiband anstelle der passiv gedehnten Musculi flexores vor.

Lange Gummibänder sind viel weiter dehnbar als kürzere. Dazu sind dünne Gummibänder weiter dehnbar als dicke. Auf das Pferd bezogen hieße das, dass ein Tier mit geringer Breitwüchsigkeit zwangsläufig auch dünnere Sehnen und Muskeln haben dürfte, da dessen Knochen zu sehr breiten Ansätzen nicht den Raum bieten. Hier dürfte ein Ansatz zur Erklärung dieses unerwarteten Ergebnisses zu finden sein. Schließlich passt auch dazu, dass unsere Warmblutrassen nach Kriegsende mit der nun langsam endenden Nutzung in der Landwirtschaft wesentlich in der Breitwüchsigkeit durch Einkreuzung von Vollblütern verringert wurden.

Beim weniger von Federungsmechanismen beeinflussten Sprunggelenk ist es dagegen so, dass große, schwere Fohlen häufiger von Osteochondrose betroffen sind (Wilke 2003). Da das Sprunggelenk als Hebel fungiert, ist dies nicht erstaunlich, da längere Hebelarme die zu tragende Last wesentlich stärker auf den dorsalen Teil der Gelenkfläche schieben (Becker 2006). Ein höheres Gewicht verstärkt diesen Effekt noch dazu. Zudem befindet sich das Sprunggelenk in jeder Phase der Bewegung in der Abwinkelung, so dass die Last im dorsalen Bereich immer in der Stützbeinphase vorhanden ist.

4.3.8. Osteochondrose im Fesselgelenk und „Spat“ – mögliche Zusammenhänge

Anhand des hier vorliegenden Materials kann kein Zusammenhang zwischen Osteochondrose im Fesselgelenk und „Spat“ (Arthrose im Sprunggelenk) nachgewiesen werden. Zum Nachweis solcher Beziehungen ist ein bei weitem größerer Stichprobenumfang nötig, den diese Arbeit nicht erbringen konnte.

Allerdings ist die Spatneigung sicher mit Belastungen in Verbindung zu bringen, was die Neigung zur Spatentstehung im dorsalen Bereich verdeutlicht. Das Sprunggelenk stellt als solches aufgrund seiner Abwinkelung schon allein einen Schwachpunkt im Pferdekörper dar (Becker 2006, 2007).

Wenn Abwinkelungen eine Rolle spielen, ist die Größe und das Gewicht der Tiere sowie der Grad der Abwinkelung aufgrund der Hebelarmwirkung ausschlaggebend. Zunehmende Größe und Gewicht wurden auch als Faktoren, welche die Osteochondrose im Sprunggelenk forcieren, ermittelt (Wilke 2003). Da die Osteochondrose frühe Arthrosen begünstigt, wozu auch Spat gehört, ist es naheliegend, bei Dispositionen zu Spat auch eine Disposition von Osteochondrose im Sprunggelenk anzunehmen.

Diesen Zusammenhang voraussetzend ist ein Ergebnis, das an 624 Fohlen und 591 Stuten ermittelt wurde, von Bedeutung. Die Tiere hatten gehäuft entweder Osteochondrose im Sprunggelenk oder im Fesselgelenk. Zwischen beiden Vorkommnissen bestand eine negative Korrelation (Schober 2003). Eigentlich sollte man annehmen, dass bei einer allgemeinen Veranlagung zur Osteochondrose andere, zu der Erkrankung neigende Gelenke, gleichermaßen betroffen seien.

Den Bewegungsablauf unter Einbeziehung des Federungsmechanismus betrachtend ist dieses Ergebnis eventuell nicht so verblüffend, wie es scheint. So stelle man sich ein Pferd vor, dessen Fesselbereich eher starr ist und nicht zu einer starken Federung neigt. Nach dem Aufsetzen im Trabe würde der aus der Bewegung und dem Körpergewicht resultierende Druck sich am ehesten auf das sich in ständiger Abwinkelung befindliche Sprunggelenk niederschlagen. Bedingt durch die Abwinkelung ist der dorsale Anteil der Gelenkflächen besonders belastet.

Bei einem Pferd, das über stark federnde, „weiche“ Fesselgelenke verfügt, wäre es nachvollziehbar, dass der im Sprunggelenk entstandene Druck letztlich durch eine verstärkte Federung in der Fessel abgeleitet wird, da es sich bei diesem Bein nicht um ein so starres Gebilde handelt. Für diese Theorie, die es lohnt, durch genauere Untersuchungen bestätigt zu werden, spricht, dass „Galle“, eine Flüssigkeitsansammlung, die u.a. auch auf Osteochondrose zurückzuführen ist, vermehrt an den Fesselgelenken der Hintergliedmaßen festzustellen ist.

Die negativ korrelative Beziehung von Osteochondrose an Sprung- und Fesselgelenken könnte somit ein weiterer Hinweis auf eine letztlich belastungsabhängige Ursache sein.

4.3.9. Genetik als Pseudo-Ursache

Sollte es so sein, dass Merkmale, die im Verlaufe züchterischen Einwirkens herausgebildet werden, Erkrankungen bedingen, könnte uns die Erforschung der Heritabilitäten einen Streich spielen.

Das bedeutet für den speziellen Fall der Herauszüchtung von Pferden mit so überragendem Bewegungsablauf eine grundsätzliche Abhängigkeit von dem Erbgut der Tiere. Ohne genetische Manifestation ist eine Zucht auf bestimmte Merkmale nicht möglich.

Umgekehrt heißt das aber auch, dass die Ermittlung von Heritabilitäten bei Erkrankungen, die züchterisch erzeugt wurden, tatsächlich genetische Abhängigkeiten ergeben. Sofern man die in dieser Arbeit aufgezeigten Zuchtstrategien bezüglich des Bewegungsablaufes nicht kennt, lassen die genetischen Abhängigkeiten uns glauben, dass es sich um vom Menschen unbeeinflusste genetische Merkmale handeln könnte.

Tatsächlich hat man Heritabilitäten bezüglich der Osteochondrose ermittelt (Winter 1995, Willms et al. 1999a, 1999b, Bruns 2001, Schober 2003). Diese Ergebnisse wären mit dem Federungsmechanismus als Ursache für die Befunde im Fesselgelenk demnach als konform anzusehen, da nach Bewegungsabläufen selektiert wird.

Besondere Beziehungen zwischen Gliedmaßenerkrankungen, darunter auch die Osteochondrose, und Leistungsmerkmalen, die eng an die Bewegungsabläufe gekoppelt sind, konnten festgestellt werden (Winter 1995). Da von den direkt an dieser Studie beteiligten Auktionspferden keine Bewertungen der Leistungsmerkmale vorlagen, griff Winter auf die Leistungen der Väter zurück. Er konnte nachweisen, dass positive Korrelationen zwischen Gliedmaßenerkrankungen und Leistungsmerkmalen bestehen. Das bedeutet, je besser die Noten für die Rittigkeit (damit ist eine Note gemeint, die ein Testreiter für das Reitgefühl wie Weichheit der Bewegungen und die „Bedienerfreundlichkeit“ vergibt) und im Springen sind, umso anfälliger sind die Tiere gegenüber Gliedmaßenerkrankungen.

In einer Studie, die sich mit möglichen Selektionsverfahren gegen die Osteochondrose in der Reitpferdezucht beschäftigt (Busche 2005), konnte simuliert werden, dass ein höherer Selektionsdruck gegen Osteochondrose die Häufigkeit der Erkrankung tatsächlich vermindern würde. Allerdings würde, je höher der Selektionsgewicht für die Osteochondrose gewählt würde, der Zuchtfortschritt in Bezug auf Leistungsmerkmale für Dressur und Springen immer geringer (Abb. 4.41).

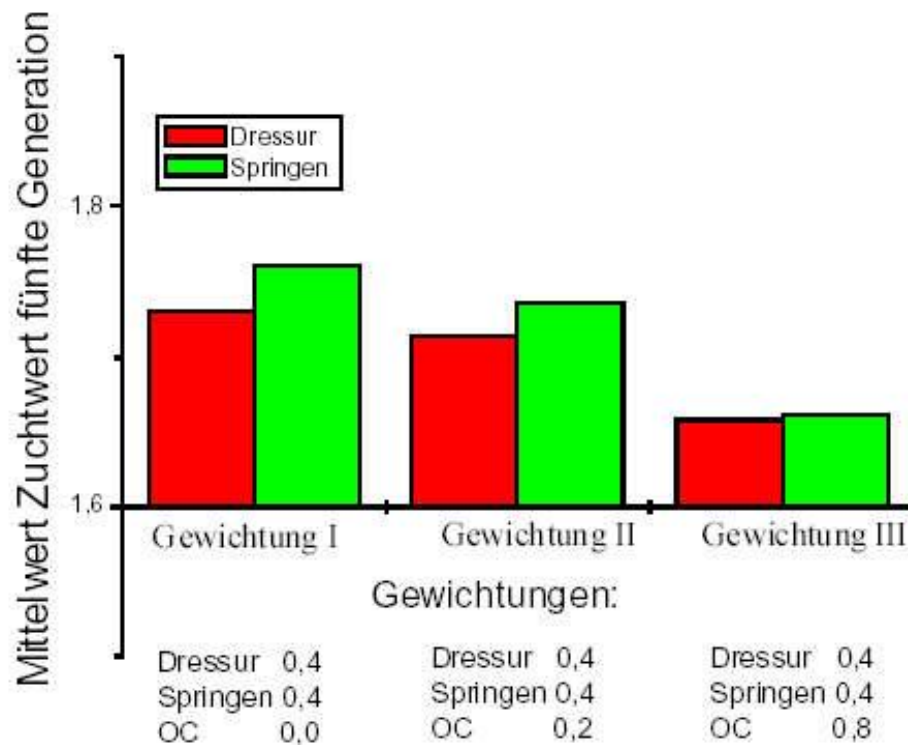


Abb. 4.41: Veränderungen der Zuchtwerte für Dressur und Springen bei Anwendung verschiedener Selektionsgewichte (nach Busche 2005).

Auch dieses Ergebnis könnte es umgekehrt möglich erscheinen lassen, dass durch Selektion auf die Leistungsmerkmale Dressur und Springen die Problematik der Osteochondrose mit züchterischer Einwirkung des Menschen zumindest forciert wurde.

4.3.10. Beidseitige Defekte im Sagittalebereich des Fesselgelenkes – ein Beweis für die Abhängigkeit vom Gebäude

Obwohl nie explizit erwähnt, ist es bei Pferden so, dass Normal -und Fehlstellungen der Gliedmaßen immer beidseitig angenommen werden, was so auch fast immer richtig sein dürfte. Dieses äußert sich z.B. in den Beschreibungen von Gliedmaßenstellungen in Lehrbüchern (Pick 1986, Launer et al. 1999). Auch die auszufüllenden Bögen zur Erfassung der Exterieurbeschreibungen zu dem in Deutschland ausgeführten Osteochondrose-Projekt erfassen Variationen der Gliedmaßen nicht getrennt nach der Körperseite (Wilke 2003). Nach meinen eigenen Erfahrungen, die auf mein gesamtes bisheriges Leben unter Pferden beruhen, ist die Eigenschaft, die für den Federungsmechanismus unter anderem von Belang sein könnte, nie auf nur einer Körperseite zu finden. Dabei handelt es sich um ein schon in der Ruheposition des Pferdes etwas eingefedert stehendes Gelenk, das man als durchtrittig in der Pferdesprache bezeichnet. Diese Durchtrittigkeit kann, muss aber keineswegs Auskunft über die Federungskapazität des Tieres geben. Tiere, die darüber verfügen, haben die Kapazität zu starker Federung; umgekehrt heißt das aber nicht, dass Tiere, die normal stehen nicht diese Kapazitäten haben können.

Festzuhalten ist, dass es entsprechend der Durchtrittigkeit als „Anzeiger“ nicht vorkommt, dass die Gliedmaßen der beiden Körperseiten über unterschiedliche Federungskapazitäten verfügen. Wäre dieses der Fall, so müssten die Tiere ja lahmen, da schließlich auf einem Bein eingefedert wird und auf dem anderen nicht.

Die Untersuchung auf die Beidseitigkeit des klassischen Osteochondrose-Befundes dorsodistal am Sagittalkamm der Metapodien und der dazugehörige Befund in der Sagittalrinne der Phalangen ist so eindeutig und hochsignifikant, dass es der Berechnung schon gar nicht mehr bedurft hätte. Auch dieses Ergebnis spricht für den Federungsmechanismus als auslösenden Faktor.

4.3.11. Das Fesselgelenk der Hintergliedmaßen ist stärker belastet

Bei dem vorliegenden Material kann keine Kopplung von Befunden der vorderen und hinteren Gliedmaßen nachgewiesen werden. Natürlich ist der Stichprobenumfang des vorliegenden Materials zu gering, um dazu ein abschließendes Urteil zu fällen.

Zur möglichen Interpretation dieses Ergebnisses möchte ich dennoch die Flüssigkeitsansammlungen im Fesselgelenk, die als „Galle“ bezeichnet werden, heranziehen. Diese Galle kann, neben einigen anderen Ursachen, auf eine Osteochondrose hinweisen. Sie ist Ausdruck eines aseptischen Entzündungsprozesses, der durch die Knorpel- und Knochenschäden entstehen kann. Nach meiner eigenen Erfahrung kommt sie am Fesselgelenk wesentlich häufiger an den Hintergliedmaßen vor.

Passend dazu hat eine Untersuchung auf isolierte Verschattungen (Osteochondrosis dissecans) an 630 Fohlen und 596 Stuten ergeben, dass das Fesselgelenk zu 80,4% an den Hintergliedmaßen betroffen ist (Reininghaus 2003). Schon zehn Jahre zuvor war eine ähnliche Anhäufung an den Hintergliedmaßen erkannt worden (Heinz 1993).

Möglicherweise ist das Fesselgelenk der Hinterhand noch stärker beansprucht als die eher lastaufnehmende Vorderhand, auf die in der Bewegung und aufgrund der Gewichtsverteilung beim Pferd eine große Last einwirkt.

Es dürfte sich nicht um einen Zufall handeln, dass eine „Durchtrittigkeit“, d.h. ein schon in der Ruheposition des Pferdes etwas eingefedert stehendes Gelenk, auch ausgerechnet am Fesselgelenk der Hintergliedmaßen schon fast obligatorisch gehäuft vorkommt. Viele Pferde kommen mit so durchtrittigen Hintergliedmaßen auf die Welt, dass der Fesselkopf (das Fesselgelenk mit dem umgebenden Gewebe) zunächst den Boden berührt. In den meisten Fällen hebt sich in den ersten Lebenswochen der Fesselkopf an und das Gelenk stabilisiert sich. Trotzdem das zunächst nicht schön anzusehen ist, gilt es unter den Züchtern als sicher, dass genau diese Fohlen in den kommenden Wochen das heute gewünschte, außergewöhnlich schwungvolle Gangvermögen entwickeln werden. Auch sehr alte Pferde, deren Muskulatur- und Bänderapparat langsam schwächer wird, sacken im Fesselgelenk zunächst an den Hintergliedmaßen weg.



*Abb. 4.42: Ein Fohlen, nur wenige Stunden alt.
Bei diesem Tier sind die Fesselgelenke der Hintergliedmaßen noch durchtrittig. In dieser Position ist das linke Fesselgelenk besonders weggesackt. Der Zustand hatte sich nach einer Woche stabilisiert. Eine weiche Federung ist an allen Gliedmaßen erhalten geblieben.
Abb. 4.17 zeigt das Federungsverhalten dieses Pferdes im Alter von drei Jahren in einer Bilderfolge.*

Es ist nicht anzunehmen, dass sich die Bänder und Sehnen der vorderen und hinteren Gliedmaßen grundsätzlich in ihrer Elastizität unterscheiden. Als Ursache kann die Konstruktion des Pferdes in Frage kommen.

Bei einem stehenden Pferd befinden sich der Metacarpus und der Radius senkrecht zum Boden. Der Metatarsus und die Tibia dagegen sind in einer Schräglage und dadurch auch länger. Bedingt durch die Winkelungen der Hinterhand müssen die Flexoren und Extensoren auch länger sein. Aufgrund der Tatsache, dass ein längeres Gummiband, das hier in der Vorstellung die Muskeln ersetzen soll (siehe auch Kap. 4.1.6. , S. 44 ff.), weiter dehnbar ist als ein kurzes, ist auch die Dehnbarkeit an den Hintergliedmaßen wesentlich größer.

Um künftig eine Verringerung der gehäuften Befunde an den Fesselgelenken der Hintergliedmaßen zu erreichen, sollten diese Verhältnisse genauer untersucht werden.

4.3.12. Schäden neben dem Sagittalkamm der Metapodien könnten auf „Ausnahme-Druckmaxima“ zurückzuführen sein

Die Schäden neben dem Sagittalkamm der Metapodien hängen offenbar nicht mit dem klassischen Osteochondrose-Befund in den Sagittalstrukturen des Fesselgelenkes zusammen. Das Pferd Nr. 9 verfügt über einen Stellungsfehler an allen vier Gliedmaßen, der mit bodenenger Stellung beschrieben werden kann. Dabei neigt sich die Phalanx bei Anlegen an die Metapodien nach medial. So ist es nicht erstaunlich, dass das Pferd Nr. 9 Schäden neben dem Sagittalkamm immer medial aufweist. Der Winkel zwischen Metapodium und Phalanx ist medial aufgrund des Stellungsfehlers enger als lateral. Dort ist entsprechend auch die Belastung größer. Auch für die anderen Pferde mit derartigen Befunden ist es wahrscheinlich, dass Ausnahme-Druckmaxima zu den Befunden geführt haben. Es könnte sein, dass an den mazerierten Knochen, die die Grundlage für diese Arbeit bildeten, nicht alle in der Realität vorhandenen Stellungsfehler zu erkennen sind, da immerhin alle Gelenkknorpel fehlen.

Bei allen großen Pferden habe ich eine grundsätzliche Neigung zu zehenenger Stellung erfahren, nur ist das Anlegen präparierter Knochen kein sicherer Indikator für den Stellungsfehler in „Natura“. Schließlich könnte auch mangelnde Hufpflege Fehlstellungen erzeugt haben. Einen Effekt des Federungsmechanismus auf die Befunde neben dem Sagittalkamm ist aus bewegungsmechanischen Gründen unwahrscheinlich und die fehlende Kopplung der Befunde auf und neben dem Sagittalkamm spricht ebenfalls für eine Verlagerung der Druckmaxima aus anderen Gründen. Jedoch könnte ein ausgeprägter Federungsmechanismus diese Verlagerung verstärken.

Eindeutig ist der Zusammenhang in Form von Befundgleichheit zwischen linker und rechter Gliedmaße bei den Schäden neben dem Sagittalkamm, was obendrein noch für einen Zusammenhang mit Stellungsfehlern spricht. Bodenenge und bodenweite Stellungen sind meist beidseitig zu finden und werden deshalb in den Lehrbüchern auch nur so gezeigt (Pick 1986, Launer et al. 1999).

4.3.13. Randexostosen im Fesselgelenk sind in der Nähe von Druckmaxima zu finden und häufen sich medial

Die Druckmaxima im Fesselgelenk sind bei den Metapodien und den Phalangen grundsätzlich in der Nähe der Druckmaxima der 3 bis 6 Jahre alten Pferde zu finden. Sowohl bei den Metapodien als auch bei den Phalangen sind die Druckmaxima beiderseits der Sagittalstrukturen dorsal ausgeprägter, insbesondere dorsomedial. So ist es auch nicht erstaunlich, dass sich allem Anschein nach die Randexostosen dorsal angehäuft finden. Besonders im dorsomedialen „Flügel“, der im Altersgang eine besondere Verbreiterung erfährt, scheint es eine Anhäufung von Randexostosen zu geben.

Für eine statistische Beweisführung reicht das vorliegende Material nicht aus. Aber aufgrund der Zusammenhänge zwischen Arthrosen und Belastungen erscheint der Zusammenhang schlüssig.

Da bis auf ein zweijähriges Tier alle anderen Pferde älter sind, ist auch die Diskussion der Druckmaxima der 3- bis 6-jährigen Pferde relevant. Sehr auffällig ist die Anhäufung der Randexostosen dorsozentral am Metatarsus, die sich also am dorsalen Rand des Sagittalkammes befindet. Bisherige, in dieser Arbeit dargestellte und zum Teil bewiesene Zusammenhänge, besonders die der stärkeren Belastung der Hintergliedmaßen gegenüber den vorderen Gliedmaßen und deren verstärkte Durchtrittigkeit, lassen einen Zusammenhang vermuten. So macht die stärkere Durchtrittigkeit eine große Abnutzung am dorsalen Rand der Metatarsen im Zustand der Hyperextension wahrscheinlich. In dieser Phase dürften sich die dorsalen Ränder der Facies articularis distalis des Metatarsus und der Facies articularis proximalis der Phalanx I berühren oder zumindest sehr stark annähern.

5. Die Halswirbelsäulen

5.1. Grundlagen

5.1.1. Knochen der Halswirbelsäule

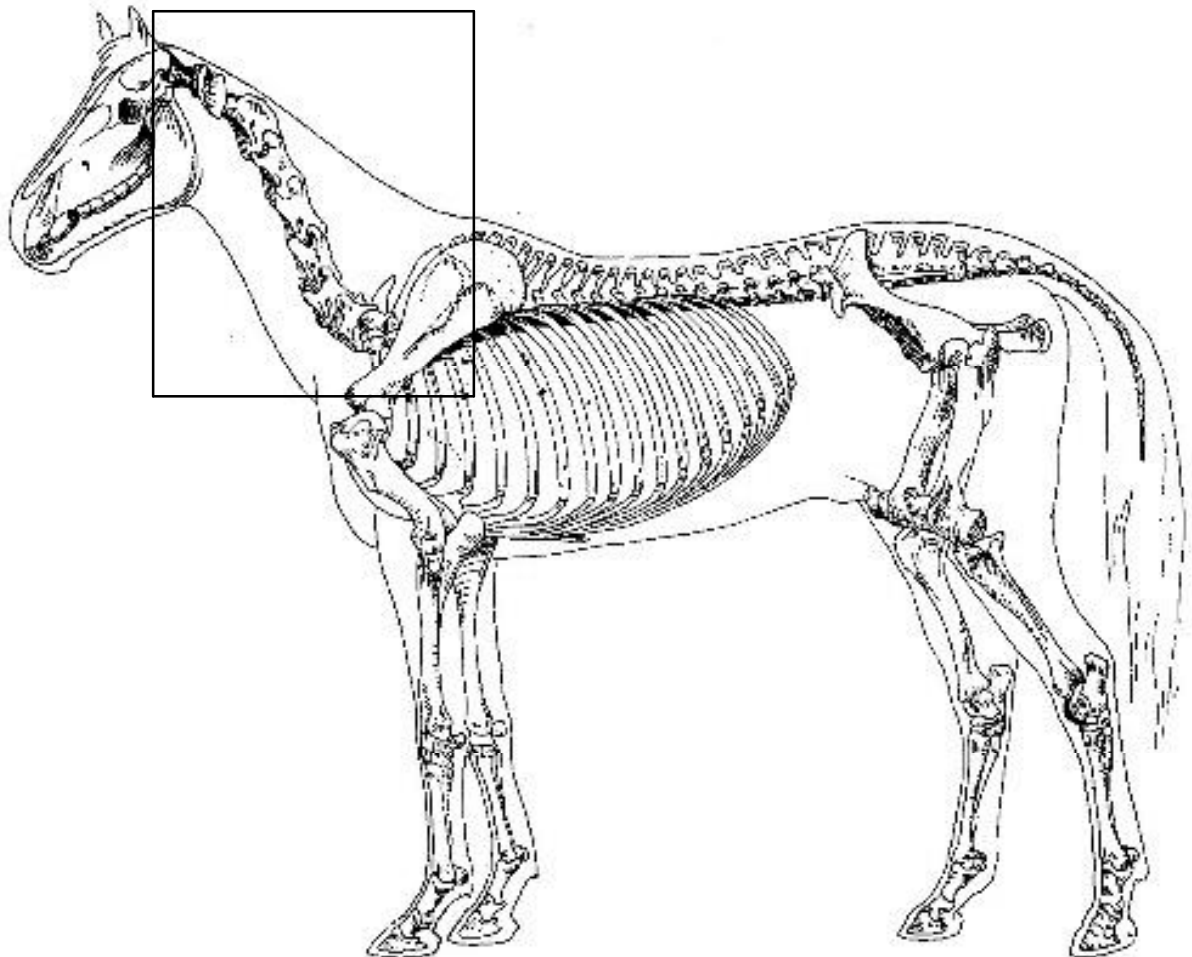


Abb. 5.1: Die Halswirbelsäule des Pferdes (Skelett nach Ellenberger und Baum 1943, modifiziert).

Die Halswirbelsäule besteht aus sieben Wirbeln. Zum Zeitpunkt der Geburt besitzen sie noch Ossifikationszentren und liegen noch nicht in ihrer vollen Stabilität vor.

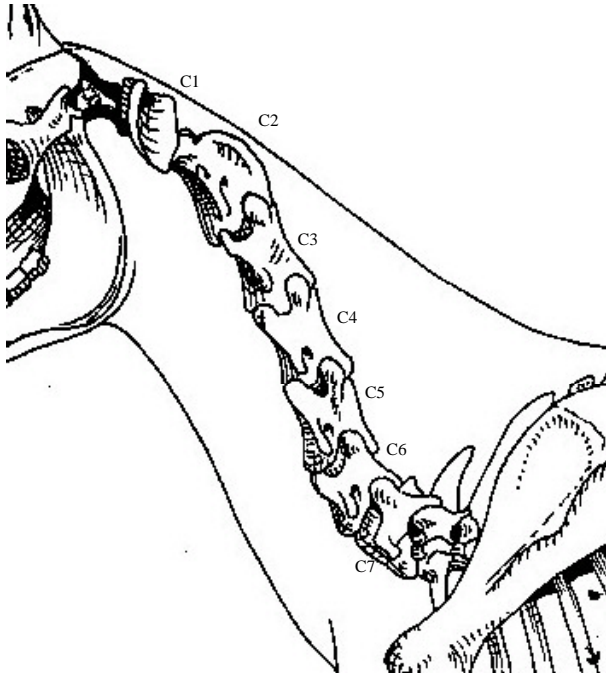


Abb. 5.2: Die einzelnen Halswirbel
(Skelett nach Ellenberger und Baum 1943).

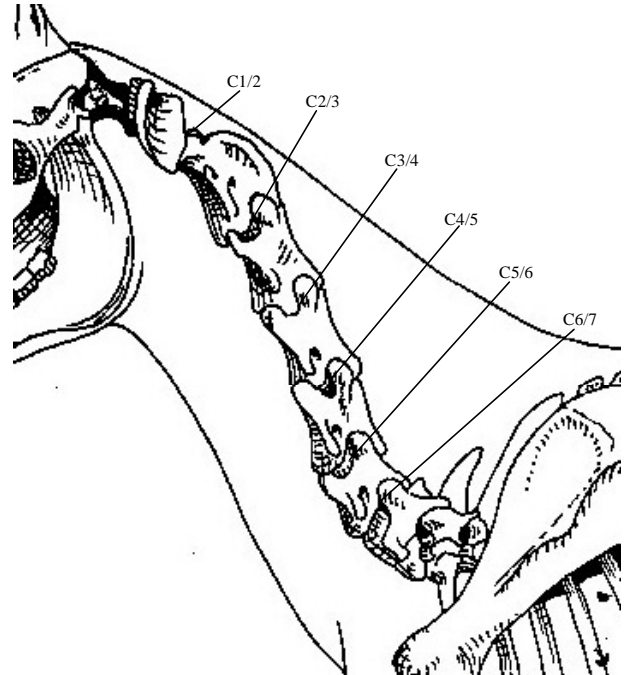


Abb. 5.3: Die Gelenke des Halswirbelsäule
(Skelett nach Ellenberger und Baum 1943).

Der erste und zweite Halswirbel besitzt eine gegenüber den anderen Halswirbeln abweichende Form, die sich aus ihrer speziellen Funktion als Kopfdreher ergibt. Da lediglich der C2 caudal eine mit den anderen Halswirbeln vergleichbare Form besitzt, ist nur dieser Teil in dieser Untersuchung berücksichtigt. Die Wirbel C2 bis C7 besitzen eine in den Grundsätzen gleiche Form, so dass hier der C4 als Beispiel betrachtet werden kann (Abb. 5.4, Abb. 5.5, Abb. 5.6).

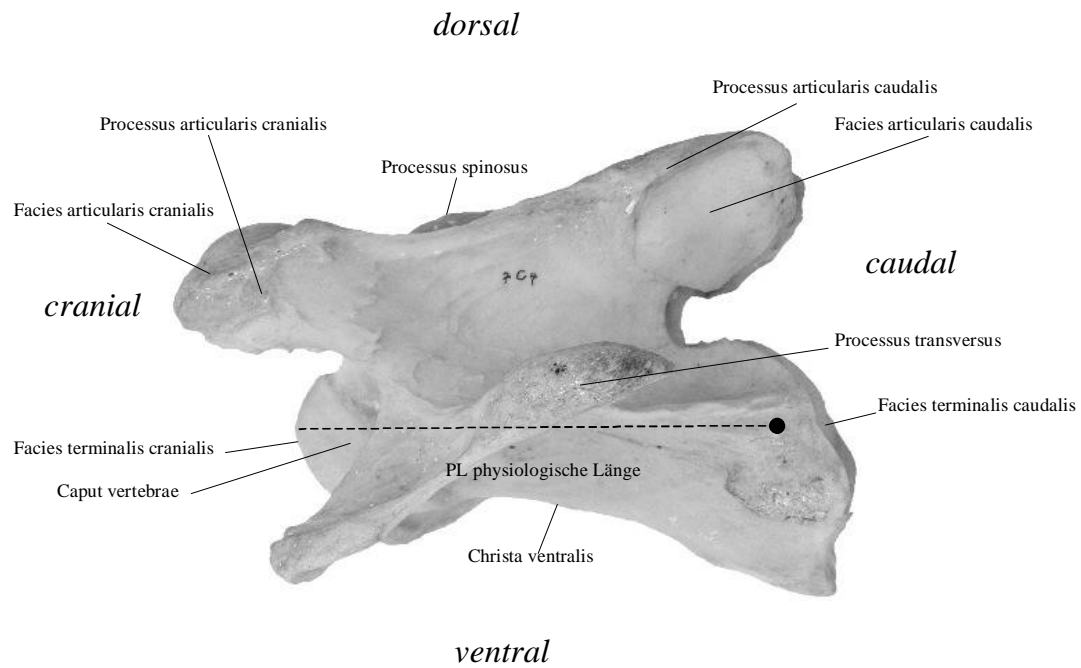


Abb. 5.4: Der 4. Halswirbel des Pferdes, Lateralansicht von links.

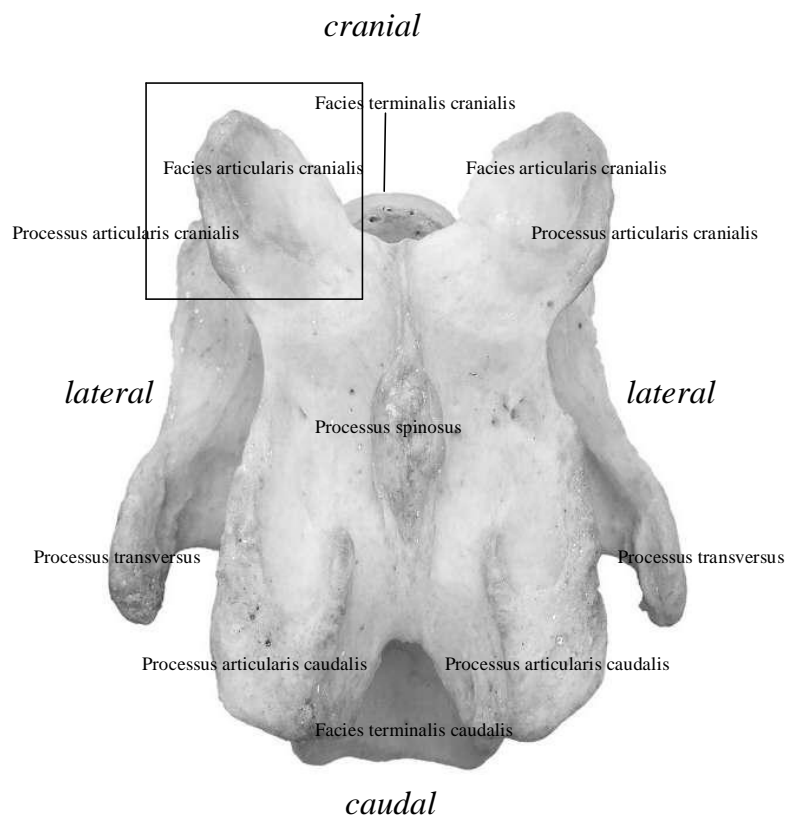
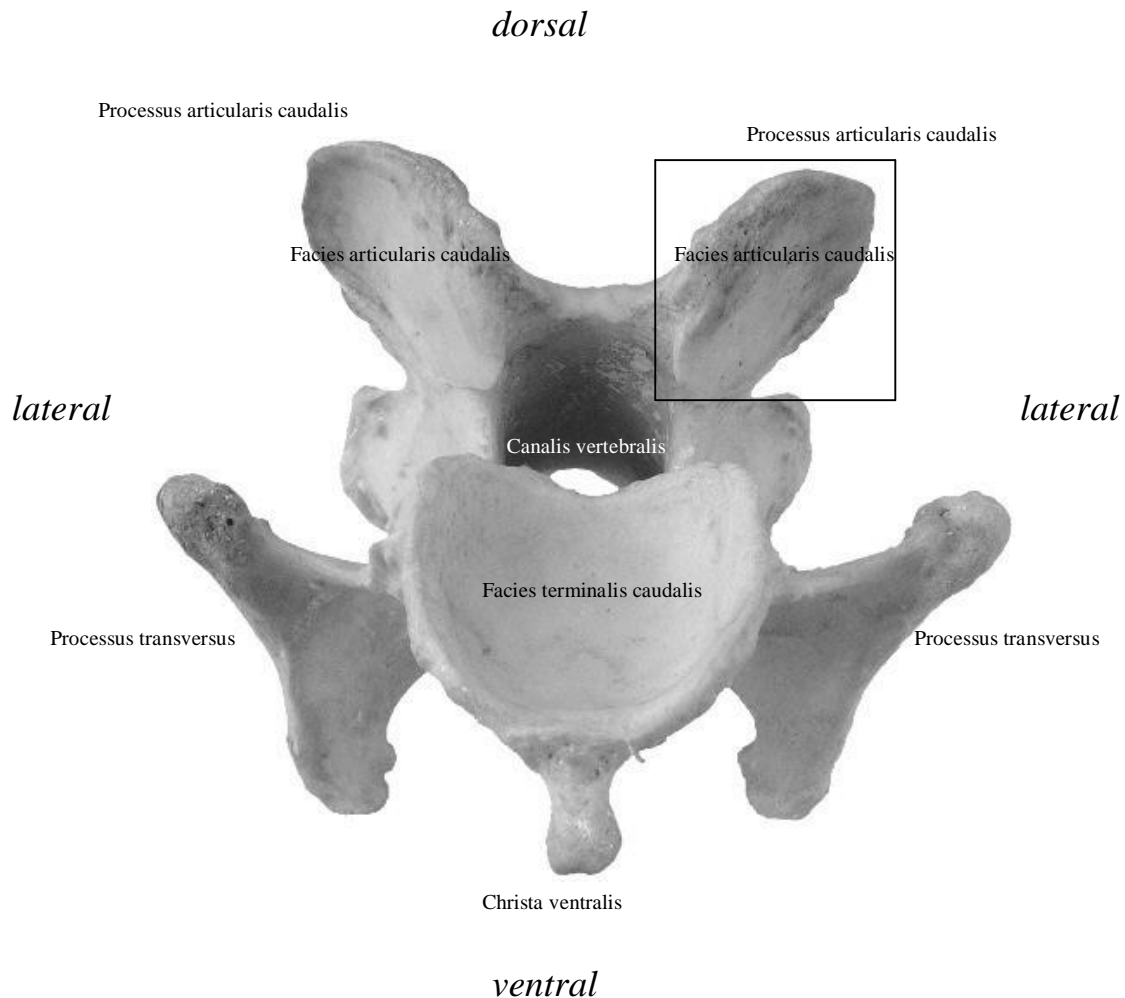


Abb. 5.5: Der 4. Halswirbel des Pferdes, Dorsalaufsicht.
Der Ausschnitt ist in der Abb. 5.11 zur genaueren Definition der Befunderhebung abgebildet.



*Abb. 5.6: Der 4. Halswirbel des Pferdes, Caudalansicht.
Der Ausschnitt ist in der Abb. 5.12 zur genaueren Definition der Befunderhebung abgebildet.*

Die Länge der Wirbel nimmt nach caudalwärts ab. Alle Wirbel bestehen aus einem Wirbelkörper, dessen Cranialfläche die konvexe Facies terminalis cranialis und dessen Caudalfläche die konkave Facies terminalis caudalis ist (Abb. 5.4). Dorsal befindet sich der Wirbelbogen mit den Processus articulares und transversus. Körper und Boden umschließen den Wirbelkanal (Canalis spinalis), in dem sich das Rückenmark befindet, die nervale Verbindung zwischen Gehirn zu sämtlichen Körperregionen. Zwischen den Wirbelkörpern je zweier Wirbel befinden sich immer eine Bandscheibe. Sie liegt zwischen Facies terminalis caudalis des einen und Facies terminalis cranialis des anderen Wirbels. Bei dieser Verbindung handelt es sich nicht um ein echtes Gelenk, sondern um Zwischenwirbelfugen, den Symphyses intervertebrales (Schaller 1992). Verglichen mit echten Gelenken ist die Verschiebbarkeit der beteiligten Facies gegeneinander durch die zähe Bandscheibe nur gering.

Der dorsal gelegene Processus spinosus ist im Halsbereich nur gering ausgebildet. Die je 2 cranial und caudal gelegenen Processus articulares sind im Halsbereich groß und bilden mit ihren Facies Schlittengelenke. Ein Gelenk wird dabei von 2 nahezu krümmungslosen Gelenkflächen gebildet. Im Gegensatz zu den Gelenken, die von den Facies terminales gebildet werden, handelt es sich um echte Gelenke.

Der sechste und siebte Halswirbel verfügt entgegen den anderen nicht über eine Crista ventralis. Außerdem ist der siebte Halswirbel mit Gelenkgruben für die bereits hier ansetzende erste Rippe ausgestattet.

5.1.2. Die Halswirbelsäule und deren Besonderheiten

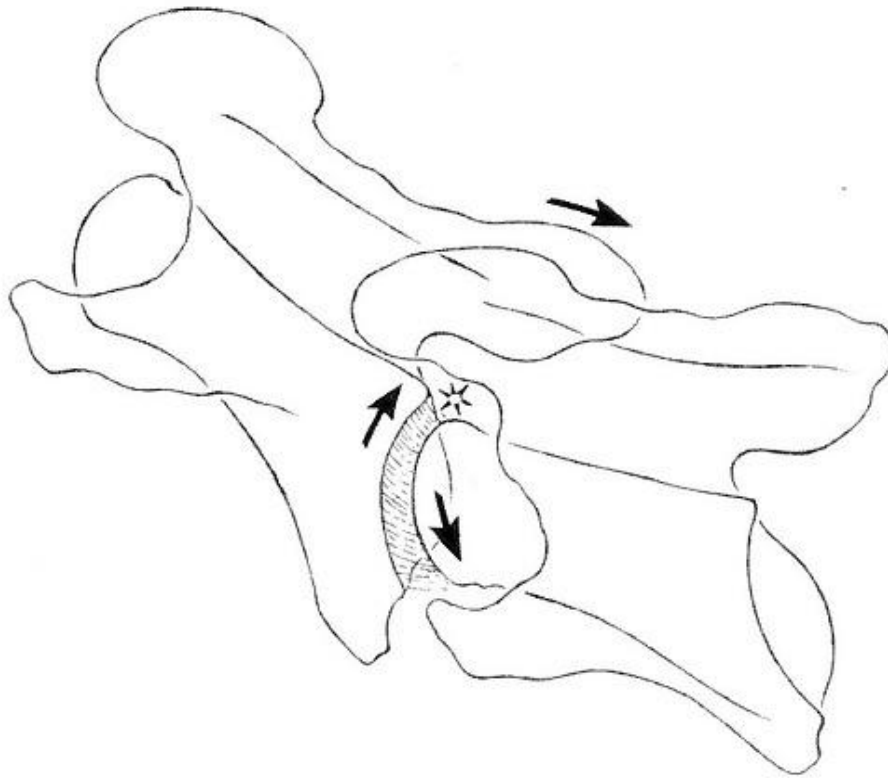
Die Halswirbelsäule fungiert als Balancierstange. Die Verbindung zwischen Hals- und Brustwirbelsäule (zervikothorakale Verbindung) ermöglicht es, den Hals in seiner Gesamtheit zu bewegen (Denoix, Pailloux 2000).

Die sieben Wirbel der Halswirbelsäule (Abb. 5.2) stellen die wichtigsten und dazu auch untereinander beweglichsten Wirbel der Wirbelsäule eines Pferdes dar. Diese Beweglichkeit basiert auf Besonderheiten der Halswirbel:

Die kranialen und kaudalen Endflächen der Wirbelkörper (Facies terminales cranialis und caudalis, Abb. 5.4, Abb. 5.5, Abb. 5.6) sind halbkugelig gewölbt bzw. ausgehöhlt. Diese Flächen sind bei den anderen Wirbeln flach. Die Zwischenwirbelscheiben (Disci intervertebrales), die die Facies terminales craniales mit den dazugehörigen Facies terminales caudales verbinden, sind im Halswirbelbereich sehr viel dicker. Dadurch ist eine hohe Beweglichkeit in alle Richtungen möglich.

Die Processus articulares sind, betrachtet man den Wirbel von der Seite (lateral), in etwa mit einer in der Horizontalen liegenden Fläche übereinstimmend gebaut. Sie bilden ein sehr bewegliches Schlittengelenk. Dabei sind sie nicht nur in parallel zueinander liegenden Ebenen verschiebbar (Abb. 5.7). Auch die Stellung der Gelenkflächen zueinander kann geändert werden (Denoix, Pailloux 2000).

Die Processus articulares der Brust- und Lendenwirbel stehen eher senkrecht und sind nicht in dem Maße wie die Halswirbelsäule auf Beugungen und Streckungen in dorsoventrale (zum Rücken, zum Bauch) Richtungen ausgelegt.



*Abb. 5.7: Verschiebungen im Gelenk zwischen C5 und C6 (nach Denoix, Pailloux 2000).
Dieses Schema wurde nach Röntgenaufnahmen erstellt. Sowohl das große Wirbelgelenk mit seinen Facies terminales als auch die kleinen Wirbelgelenke mit den Facies articulares verschieben sich gegeneinander.
Allerdings ist das kleine Wirbelgelenk als echtes Gelenk flexibler.*

Die Dornfortsätze (Processus spinosi) sind nur rudimentär vorhanden. Außerdem fehlen die Ligamenta interspinalia (Bänder zwischen den Dornfortsätzen) und das Ligamentum supraspinale (Band, das sich an den Spitzen der Dornfortsätze anheftet). Die Halswirbelsäule besitzt im Bereich der Processi spinosi ein sehr dehnbares Ligamentum nuchae (Nackenband). Auch das führt zu einer höheren Beweglichkeit.

Die ausgeprägten Dornfortsätze im Brust- und Lendenwirbelsäulenbereich hingegen mit den Ligamenta interspinalia und dem Ligamentum supraspinalia machen dorsoventrale Beugungen und Steckungen wie in der Halswirbelsäule unmöglich.

5.1.3. Verbindungen der Halswirbelsäule mit der Vordergliedmaße

Der Hals und Kopf des Pferdes muss in den gewünschten Positionen gehalten und stabilisiert werden. Dieses geschieht durch zahlreiche Muskeln und Bänder.

Das Gewicht des Kopfes und Halses erfordert in der Vorwärts-Bewegung, besonders in der Phase des Aufsetzens des Beines (Stützbeinphase), besondere Anstrengungen, um in einer stabilen Lage zu bleiben. Hierbei spielt der Musculus serratus ventralis, der von der Scapula zu den Wirbeln C3 bis C7 verläuft, eine wichtige Rolle (Abb. 5.8). Ohne ihn würde der Kopf und Hals in der „Aufsetz-Phase“ regelrecht zu Boden fallen.

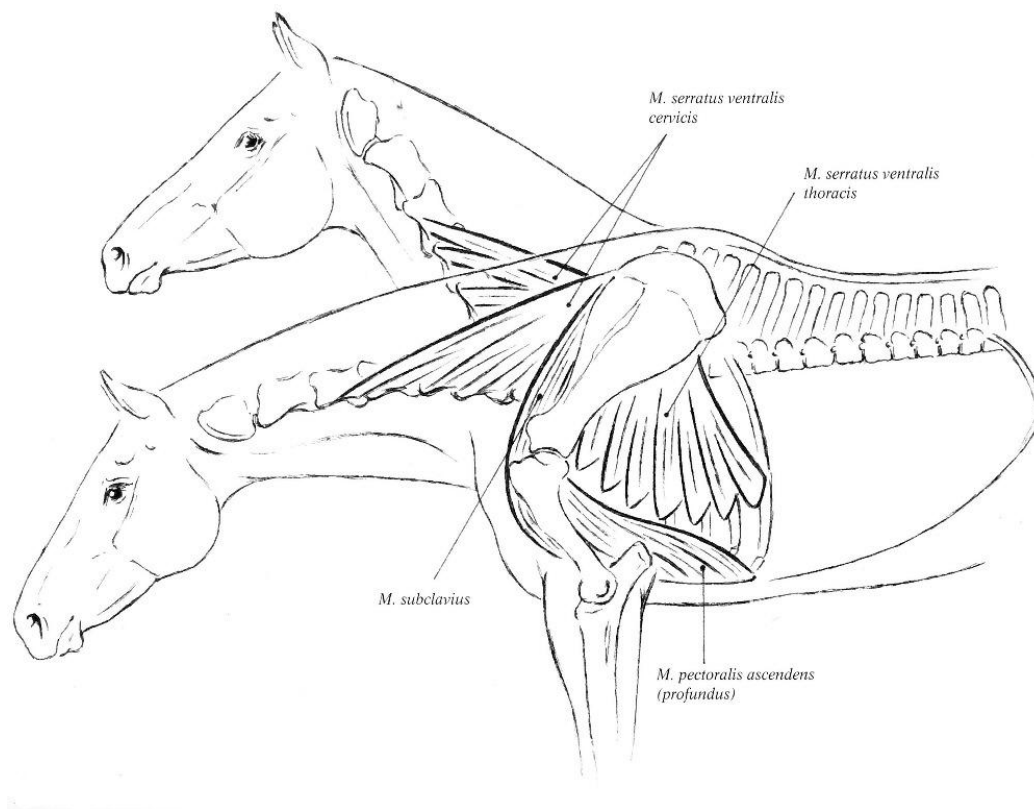


Abb. 5.8: Unterstützung der Vorderhand (nach Denoix, Pailloux 2000).

Zwischen der Scapula und den Cervicalwirbeln bestehen Verbindungen: Der Musculus serratus ventralis cervicis verbindet die Wirbel C3 bis C7 mit der Scapula. Er entspringt an den Processus transversarii (Abb. 5.4, Abb. 5.5) der Wirbel und setzt an der Facies serrata der Scapula an. Diese befindet sich proximocranial auf der medialen Seite der Scapula. In der Stützbeinphase wird der proximale Scapulaabschnitt nach cranial und ventral gezogen, was auf diesen Muskel zurückzuführen ist (Denoix, Pailloux 2000). Weiterhin dient er als Strecker der caudalen Halsregion (im Bild oben), was zum Anheben des Halses führt. Die Muskeln serratus ventralis thoracis, subclavius und pectoralis ascendens dienen der Befestigung der Vordergliedmaße am Rumpf über die Scapula.

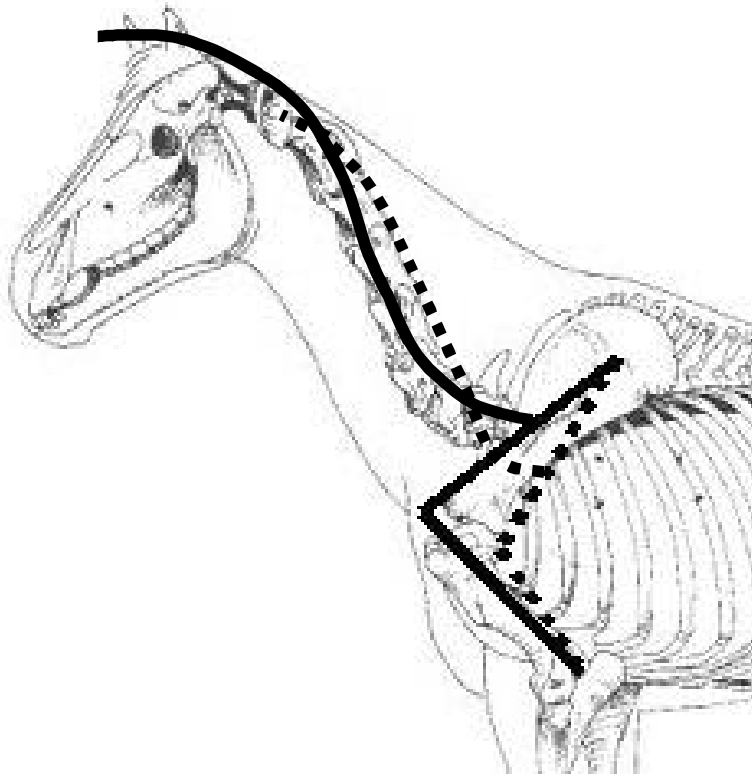
5.1.4. Einwirkungen der modernen Pferdezucht auf die Halswirbelsäule

Die moderne Reiterei verlangt eine lange, schräge Schulter (siehe auch 4.1.6. , S.44). Eine flache, steile Schulter ist nicht erwünscht. Auf dieser schrägen Schulter soll der Hals etwa rechtwinkelig aufgesetzt sein und eine nach oben gewölbte Kammlinie haben (Verband hannoverscher Warmblutzüchter e.V.: Satzung, Stand: 6. Juni 2005) (Abb. 5.10). Der Hals sollte sich zudem zum Kopf hin sichtbar verjüngen. Ein solcher Hals ist bei Zebras, Eseln und Przewalskipferden (Abb. 5.9) in der Regel nicht vorhanden.



Abb. 5.9: Przewalskipferd. Das archaische wirkende Przewalskipferd hat eine steile Schulter und einen kurzen, tief angesetzten Hals, der sich zum Kopf hin nicht wesentlich verjüngt. Diese Rasse ist die einzige der ehemals wildlebenden Rassen von Equus caballus, die bis heute in Zoos überleben konnte (Foto: Public Domain, Wikimedia).

Die züchterische Einwirkung des Menschen hat Pferde hervorgebracht, die diesem Ideal entsprechen. Nur noch selten fallen in Reinzuchten, die den Reitpferderassen angehören, Pferde, deren Hals dem des Przewalskipferdes ähnelt. In Abb. 5.10 ist der „moderne“ Hals übertrieben dargestellt, um die Eigenschaften zu verdeutlichen. Der längere und deutlich mehr geschwungene Hals im Zusammenhang mit der schrägen Schulter zeigt, dass deutlich höhere Muskelkräfte wegen der veränderten Muskelhebelarme für den Musculus serratus ventralis cervicis (Abb. 5.8) nötig sind, um die erforderliche Haltearbeit zu verrichten. Dies führt gleichzeitig zu höheren statischen Belastungen für die Halswirbelsäule.



*Abb. 5.10: Veränderungen der Lage und Länge der Halswirbelsäule
(Skelett nach Ellenberger und Baum 1943, modifiziert).*

*Die gestrichelten Linien zeigen die Lage der Scapula und der Halswirbelsäule bei eher archaischen Pferden.
Die durchgezogene Linie gibt das heutige Zuchtziel für die Lage der Scapula und die Halswirbel wieder.*

5.1.5. Halswirbel klinisch unauffälliger Pferde (Mechlenburg 1967)

Schon vor fast 40 Jahren wurde in einer an der TiHo Hannover erstellten Dissertation (Mechlenburg 1967) von anatomischen Abweichungen der Cervicalwirbel bei 28 klinisch unauffälligen Pferden im Alter von einigen Stunden bis 18 Jahren berichtet. Die Untersuchungen erfolgten am freipräparierten, jedoch nicht mazerierten Knochen. Die Gelenkknorpel waren somit noch vorhanden.

Nur 4 Pferde (Alter: Frühabort bis 1,5 Tage alt) hatten noch keine arthrotischen Veränderungen. 24 Tiere, davon 7 erst bis ein Jahr alt, hatten Knorpelläsionen; Einziehungen und Risse im Knorpel sowie Randexostosen. Bei allen Tieren waren Abweichungen der Processus articulares in Form von Asymmetrien sowohl in Stellung als auch in Größe und Form vorhanden.

Die Untersuchung des Rückenmarkes ergab bei 24 Tieren Achsenzylinderödeme und Demyelinisierungen, so dass trotz der klinischen Unauffälligkeit nicht von unbedenklichen morphologischen Variationen der Halswirbel gesprochen werden kann. Vielmehr kam Mechlenburg (1967) zu dem Schluss, dass offensichtlich ein gewisses Kompensationsvermögen besteht, das leichtere Defekte ausgleichen kann.

Grundsätzlich können arthrotische Formveränderungen ein Kennzeichen der Osteochondrose sein, weswegen diese Erkrankung auch als präarthrotische Deformität bezeichnet wird (Krämer 1996). Dies gilt besonders, wenn schon sehr junge Tiere über arthrotische Veränderungen verfügen, die nur für sehr alte Individuen anzunehmen wären. Der Begriff Osteochondrose, damals noch nicht so in die Diskussion geraten wie heute, hatte in dieser Arbeit jedoch noch keine zentrale Bedeutung.

5.2. Ergebnisse

5.2.1. Befundtypen

Die Facies terminales weisen bis auf leichte Randexostosen bei den älteren Tieren keine Besonderheiten auf, so dass bei ihnen auf weitere Betrachtungen verzichtet werden kann. Abweichungen von der Norm sind hauptsächlich an den Facies articulares craniales und caudales zu finden.

So ist eine Scharfrandigkeit der Facies zu finden. Diese kann so ausgeprägt sein, dass es an den Rändern zur Ausbildung von lippenartig ausgezogenem Knochenmaterial kommt (Abb. 5.15). Gemäß der Form wird diese Erscheinung im Folgenden mit dem englischen Begriff Lipping bezeichnet (ähnliche Erscheinungen gibt es auch an den Gelenkflächen im Fessel- und Sprunggelenk). In geringerer Ausprägung wird von einem Lippingansatz gesprochen.

Ferner kommt es auf den Gelenkflächen zur Ausbildung von Spalten, die wirken, als habe man das Material gepresst. Sie werden auch Fissuren (lat.) genannt (Abb. 5.14). Auch Löcher in den Flächen sind eine Abweichung von der Norm. Diese Erscheinung wird hier mit dem Begriff Flächenschaden umschrieben.

Es gibt Teile der Facies, an denen offenbar Substanz verloren ging oder von vorneherein fehlte (Abb. 5.13). So wird auch im Folgenden auch von Substanzverlust gesprochen.

Die Befunde sind an immer denselben, prädisponierten Zonen der Gelenkflächen festzustellen (Abb. 5.11 und Abb. 5.12). Unter Angabe dieser Knochenteile können die vielfältigen Abweichungen mit Hilfe einer Tabelle in eine bewertbare Form gebracht werden (Tab. 5.1).

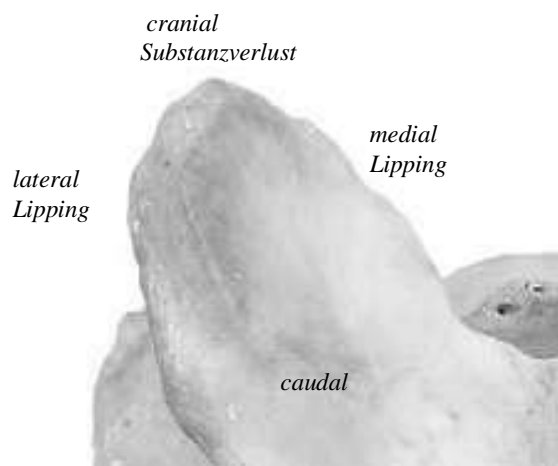


Abb. 5.11: Die linke Facies articularis cranialis des 4. Halswirbels, Cranialansicht (Ausschnitt aus Abb. 5.5).
An diesen Stellen treten Lipping und Substanzverluste bei dieser Gelenkfläche in der Regel auf.

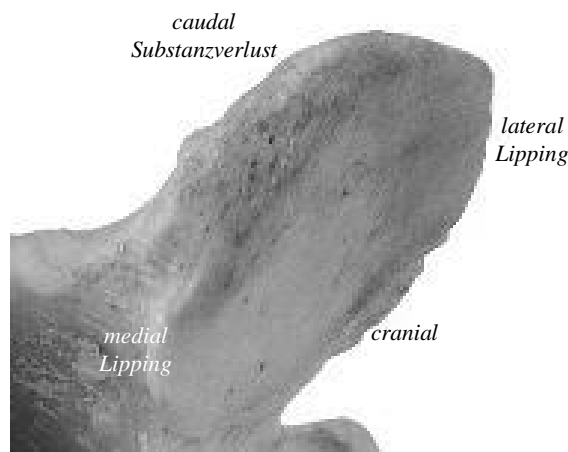


Abb. 5.12: Die rechte Facies articularis caudalis des 4. Halswirbels, Caudalansicht (Ausschnitt aus Abb. 5.6).
An diesen Stellen treten Lipping und Substanzverluste bei dieser Gelenkfläche in der Regel auf.

Zum Verständnis der für die Tabelle ausgewählten Befundtypen werden zunächst Fotos von Halswirbeln eines mit der Abgangsursache Ataxie geschlachteten 2-jährigen Pferdes gezeigt (Abb. 5.13 bis Abb. 5.17).



Abb. 5.13: Dorsalaufsicht auf die Facies articulares caudales des Axis von Pferd 11 (2-jährig). Beide Gelenkflächen weisen im caudalen Bereich Lücken (→) auf, wie sie für eine fehlerhafte enchondrale Ossifikation typisch sind. Bei nicht mehr jungen Pferden aus Ausgrabungen (aus unserem Materialbestand) sind an den Facies articulares craniales cranial und an den Facies articulares caudales caudal Abriebspuren zu erkennen, jedoch ohne Fissuren. An eben diesen Stellen gehen **Substanzverluste** (Tab. 5.1 Sv) mit der Osteochondrose in erster Linie einher.



Abb. 5.14: Lateralansicht auf die rechte Facies articularis caudalis des C3 von Pferd 11. Die Gelenkfläche weist Fissuren (→) auf, als habe man sie einfalten wollen. In der Mitte fehlen ganze Teile der Facies; man blickt auf teilweise durch nekrotische Prozesse zerstörtes Knochenmaterial, welches durch offenbar entzündliche Vorgänge zahlreiche Gefäßkanäle erkennen lässt. Eventuell hat an diesen Stellen eine enchondrale Ossifikation gar nicht stattgefunden. Große Teile der Gelenkfläche sind nicht mehr intakt. Bei dem vorliegenden Material wird versucht, einen ungefähren Eindruck des Ausmaßes der nicht mehr intakten Facies durch den Begriff **Flächenschaden** (Tab. 5.1 Fs) gibt den ungefähren prozentualen Anteil der nicht idealen Gelenkfläche an der gesamten Gelenkfläche wieder. Der Begriff Flächenschaden ist dem des Substanzverlustes etwas ähnlich, da Substanzverluste cranial und caudal (Abb. 5.11 und Abb. 5.12) dem Flächenschaden zuzurechnen sind. Fissuren, Löchlein und scharfe Ränder der Facien sind wie in diesem Beispiel häufig gemeinsam zu finden.



Abb. 5.15: Caudalansicht des C3 von Pferd 11. Die Scharfrandigkeit (Lippingansatz medial), ist besonders im Bereich des Canalis spinalis bedenklich. Die rechte Facies zeigt zusätzlich einen schon ausgeprägten Lippingfortsatz lateral (→). **Lipping** (Tab. 5.1 **Lm** = **Lipping medial**, **Ll** = **Lipping lateral**) kommt immer lateral und medial auf den Facies articulares vor. An den cranialen und caudalen Rändern der Gelenkfläche ist es nicht oder stets sehr gering zu erkennen. Ein leichtes Lipping wäre bei älteren Tieren als Abnutzungsspur normal.



Abb. 5.16: Lateralansicht links des C4 von Pferd 11. Am linken Processus articularis caudalis fehlt ein großer Teil des Gelenkes (→). Daneben sind weitere typische Osteochondrosemerkmale, Falten und Löcher, zu sehen. Auch der Processus transversus zeigt eine Stelle, an der die kompakte Knochenstruktur der Oberfläche fehlt (→).



Abb. 5.17: Caudalansicht auf den C4 von Pferd 11. Der stark befallene linke Processus articularis caudalis hat aufgrund seiner scharfrandig ausgezogenen Flächen eine größere Ausdehnung als der rechte Processus. Auch der Winkel der Facies in Bezug auf den Canalis spinalis ist unterschiedlich. Die Processus transversi zeigen ebenfalls eine unterschiedliche Gestalt.

5.2.2. Befunde

			Sv	Lm	Ll	Fs	Sv	Lm	Ll	Fs
Wirbel	Facies	Ind	li	re						
C2	Facau2	1	4	1	1	3	5	3	2	4
		5	1	0	0	1	1	0	0	1
		9	2	0	1	3	1	1	2	1
		11	2	1	0	1	2	1	0	2
		6	0	0	0	0	2	0	0	1
		7	3	2	1	4	3	2	2	3
		8	2	1	1	1	1	1	0	2
		10	3	1	4	4	3	1	4	4
			Sv	Lm	Ll	Fs	Sv	Lm	Ll	Fs
Wirbel	Facies	Ind	li	re						
C3	Facr3	1	2	2	0	1	2	1	0	2
		5	3	4	1	3	2	4	0	2
		9	1	1	0	2	2	5	0	3
		11	2	3	1	1	2	5	1	2
		6	0	1	0	0	0	0	0	1
		7	2	2	1	1	2	2	1	3
		8	1	0	0	1	0	1	0	2
		10	1	1	0	1	2	1	1	1
		LO	1	0	0	0	n.b.	0	0	0
		KT36	0	0	0	0	n.b.	0	0	0
	Facau3	1	5	2	2	5	5	3	0	3
		5	2	2	3	3	2	2	4	3
		9	1	2	3	3	1	0	2	3
		11	3	5	3	3	3	5	5	4
		6	2	1	1	2	4	1	0	2
		7	1	1	2	2	4	1	2	3
		8	1	1	2	2	3	2	2	2
		10	1	1	1	2	1	1	1	1
LO	1	0	0	0	1	0	0	0		
KT36	0	1	n.b.	0	0	1	0	0		

Wirbel	Facies	Sv Lm Ll Fs Sv Lm Ll Fs								
		Ind	li				re			
C4	Facr4	1	2	4	0	4	5	5	0	5
		5	2	2	0	2	1	2	0	1
		9	1	1	0	2	0	1	0	1
		11	4	5	0	1	3	5	0	1
		6	0	1	0	1	0	1	2	1
		7	2	1	0	1	2	1	0	1
		8	1	2	0	1	1	1	0	0
		10	1	2	0	1	0	1	0	0
		LO	1	0	0	0	1	0	0	0
		KT36	n.b.	0	0	1	0	0	n.b.	0
	Facau4	1	1	0	1	1	1	1	0	2
		5	3	3	2	3	2	4	5	4
		9	1	3	3	4	1	3	4	3
		11	5	4	2	5	3	4	2	1
		6	3	1	1	2	3	1	1	2
		7	2	1	2	1	3	1	1	2
		8	2	1	0	2	3	0	0	2
		10	2	2	1	4	1	0	0	1
		LO	1	0	0	0	1	0	0	0
		KT36	0	1	0	0	n.b.	1	n.b.	0

Wirbel	Facies	Sv				Lm				Fs
		Ind	li							
C5	Facr5	1	2	3	3	3	1	1	1	2
		5	4	5	1	3	4	4	0	3
		9	1	5	0	1	1	4	0	1
		11	5	5	1	2	4	5	1	2
		6	1	2	0	1	0	1	1	1
		7	2	2	1	1	1	1	2	0
		8	1	1	1	1	1	1	0	1
		10	0	2	0	1	0	1	1	1
		LO	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
		KT36	0	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
	Facau5	1	1	1	0	3	4	4	0	4
		5	3	2	5	3	2	2	5	4
		9	1	1	4	3	1	2	0	2
		11	5	3	1	3	5	5	2	3
		6	2	1	0	2	2	1	0	2
		7	2	1	0	2	2	1	0	1
		8	0	1	0	1	0	1	0	0
		10	1	1	0	0	1	1	1	1
		LO	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
		KT36	0	0	0	0	0	0	0	0

Wirbel	Facies	Ind	Sv	Lm	Ll	Fs	Sv	Lm	Ll	Fs
			li				re			
C6	Facr6	1	0	4	1	3	4	1	1	2
		5	2	0	0	3	2	0	0	2
		9	1	4	0	1	1	5	0	2
		11	4	4	1	2	2	4	1	1
		6	0	0	0	0	1	0	0	1
		7	0	3	0	0	0	1	1	0
		8	1	1	0	0	1	2	1	1
		10	0	0	0	0	0	0	1	1
		LO	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
		KT36	1	0	0	0	0	0	0	0
	Facau6	1	2	3	0	4	5	4	0	3
		5	3	3	0	2	2	1	1	1
		9	2	5	1	1	5	0	0	1
		11	1	3	1	1	3	3	1	1
		6	0	0	0	0	1	0	0	0
		7	0	0	0	0	0	0	0	0
		8	0	0	0	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
		10	0	0	0	1	0	0	1	1
		LO	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
		KT36	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 5.1: Befunde an den Processus articulares der Wirbel C2 caudal bis C6 caudal.
Bei den 4 fett gedruckten Individuennummern gaben die Lieferanten der Tiere als Abgangsursache spinale Ataxie an. Die wichtigsten Abweichungen von der Norm sind erfasst. Erklärungen hierzu sind dem obigen Kapitel über die Befundtypen zu entnehmen (siehe auch Substanzverlust (Sv), Lipping (Lm und Ll), Flächenschäden (Fs): Abb. 5.11 bis Abb. 5.15. Die Abweichungen sind je nach Ausmaß mit 0 bis 5 bewertet, 4 und 5 sind zusätzlich als stärkste Schäden fett hervorgehoben.

Facr: Facies articularis cranialis,

Facau: Facies articularis caudalis.

Alter der Tiere (Nr./Jahre): 1/3, 5/5, 6/15, 7/13, 8/10, 9/3, 10/13, 11/2, LO/5-7, KT36/5-6.

5.2.3. Befundauswertung

Die folgende Auswertung beruht auf den Daten der Tabelle (Tab. 5.1). Alle angegebenen 95%-Vertrauensbereiche beziehen sich auf den wahren Mittelwert, der mit der angegebenen Sicherheit in diesem Bereich zu finden ist (berechnet nach Sachs 1982). Sofern Signifikanztests durchgeführt wurden, sind die Ergebnisse im Text besonders hervorgehoben: bei $p \leq 0,05$ als signifikant und mit * gekennzeichnet, bei $p \leq 0,01$ als sehr signifikant und mit ** gekennzeichnet und bei $p \leq 0,001$ als höchst signifikant ***.

In diese Untersuchung konnten die Ergebnisse von 10 Pferden eingehen. Von 4 Schlachtpferden war nach Besitzerangabe die Diagnose spinale Ataxie bekannt. 4 weitere Tiere sind aus anderen Gründen getötet worden. Die Tiere LO und KT36 stammen aus Ausgrabungen.

Zunächst liefern die Rohdaten der Tabelle (Tab. 5.1) schon folgende Ergebnisse:

Sowohl die klinisch auffälligen, als auch die unauffälligen Tiere zeigen an den Processus articulares typische osteochondrale Veränderungen wie Fissuren, Inselbildung und Aussparungen. Fast vollständig ideale Bilder auf, wie sie z.B. bei den beiden Pferden aus Ausgrabungen gängig sind, kommen bei allen Schlachtpferden nicht vor.

Die Processus articulares aller Schlachtpferde zeigen weiterhin deutliche Formveränderungen. Sie sind flächig in mediale und laterale Richtung durch Lipping ausgezogen. Bei den beiden Pferden aus Ausgrabungen existiert ebenfalls eine Tendenz zu einem Lipping medial der Facies articulares. Diese ist jedoch minimal und in keiner Weise mit dem Ausmaß bei den Schlachtpferden vergleichbar.

Randexostosen, die für ältere Pferde normal wären, kommen schon bei unter 5 Jahre alten Schlachtpferden vor.

Die Grabungspferde zeigen an einigen Facies articulares craniales cranial und an den Facies articulares caudales caudal „normale“ arthrotische Abriebspuren, die an einen geringen Substanzverlust gekoppelt sind. An genau diesen Stellen finden sich bei den Schlachtpferden größere Substanzverluste, die zusätzlich mit Fissuren und sogar fehlenden Gelenkflächenteilen gekoppelt sind.

Auch in anderen Arbeiten, die sich u.a. mit der Registrierung der pathologischen Abweichungen an Pferden aus Ausgrabungen beschäftigen, hat man derartiges nicht gefunden (Ambros, Müller 1980, May 1994, Müller 1985, Bitzan, May 1990).



*Abb. 5.18: Facies articularis caudalis von C3, caudoventrale Aufsicht.
Links von dem ca. 1500 Jahre alten Individuum LO (♂, 6-7-jährig), Mitte vom Schlachtpferd 7 (unauffällig, ♀, 13-jährig, rechts von Schlachtpferd 5 (auffällig, ♀, 5-jährig), die Aufnahmen sind nicht maßstabsidentisch.
Die Facies des Ausgrabungspferdes sind, auf den Canalis spinalis bezogen, eher längsoval. Die Facies der Schlachtpferde hingegen haben eine eher querovale Tendenz. Dieses wird bei Pferd 5 (rechts) besonders deutlich, da die Fläche durch das beidseitige Lipping lateral und medial etwas ausgezogen ist. Dieses Beispiel veranschaulicht die unterschiedlichen Abweichungsausmaße bei Ausgrabungspferden, klinisch unauffälligen und auffälligen Schlachtpferden.*

5.2.3.1. Klinisch auffällige und unauffällige Tiere – Vergleich der Abweichungen

Diese Auswertung soll Auskunft darüber geben, ob bei klinisch auffälligen und klinisch unauffälligen Schlachtpferden tatsächlich ein statistisch relevanter Unterschied im Aufkommen von Abweichungen vorhanden ist.

Für jedes Individuum wird ein Mittelwert aus allen bei ihm vorkommenden Abweichungen ermittelt. Das ergibt je vier Mittelwerte für die auffälligen und die unauffälligen Tiere sowie zwei Werte für die beiden Pferde aus Ausgrabungen. Von diesen drei Gruppen wird wiederum ein Mittelwert gebildet und die Gruppen miteinander anhand ihrer Populationskenngrößen verglichen.

	auff	unauff	ausgr
Mittelwert	2,09	0,97	0,21
Standardfehler	0,18	0,12	0,08
Standardabweichung	0,37	0,24	0,12
Stichprobenvarianz	0,14	0,06	0,01
Minimum	1,66	0,77	0,13
Maximum	2,55	1,30	0,29
Summe	8,34	3,86	0,42
Anzahl	4,00	4,00	2,00
Konfidenzniveau(95,0%)	0,58	0,38	1,04
untere 95%-Vertrauensgrenze	1,50	0,59	-0,83
obere 95%-Vertrauensgrenze	2,67	1,34	1,24

Tab. 5.2: Vergleich der Populationskenngrößen von 4 klinisch auffälligen (Gruppe auff) und 4 unauffälligen Schlachtpferden (Gruppe unauff) sowie der Ausgrabungspferde (Gruppe ausgr). Die Grundlage bildet ein Mittelwert aus allen vorkommenden Abweichungen eines Individuums.

Die 95%-Vertrauensbereiche der Stichproben liegen im Falle der klinisch auffälligen und unauffälligen deutlich voneinander abgegrenzt.

Die Überprüfung mit Hilfe des parameterfreien Kruskal-Wallis-Tests, der für den Vergleich mehrerer unabhängiger Stichproben geeignet ist, bestätigt trotz des geringen Stichprobenumfanges einen signifikanten* Unterschied mindestens zweier Gruppen, da $p \leq 0,05$ (0,02).

Ränge

	KLINIK	N	Mittlerer Rang
D	auffällig	4	8,50
	unauffällig	4	4,50
	ausgrabung	2	1,50
	Gesamt	10	

Statistik für Test^{a,b}

	D
Chi-Quadrat	7,855
df	2
Asymptotische Signifikanz	,020

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: KLINIK

Tab. 5.3: Kruskal-Wallis-Test.

Da uns von vielen Ausgrabungspferden das fast nicht vorhandene Vorkommen von Abweichungen ohnehin schon bekannt ist, werden weiterhin nur die Werte der auffälligen und unauffälligen Individuen nochmals mit dem U-Test nach Mann und Whitney gegeneinander getestet.

Die klinisch auffälligen Individuen sind signifikant* stärker betroffen als die unauffälligen, da $p \leq 0,05$ (0,029).

Ränge

	KLINIK	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
D	auffällig	4	6,50	26,00
	unauffällig	4	2,50	10,00
	Gesamt	8		

Statistik für Test^b

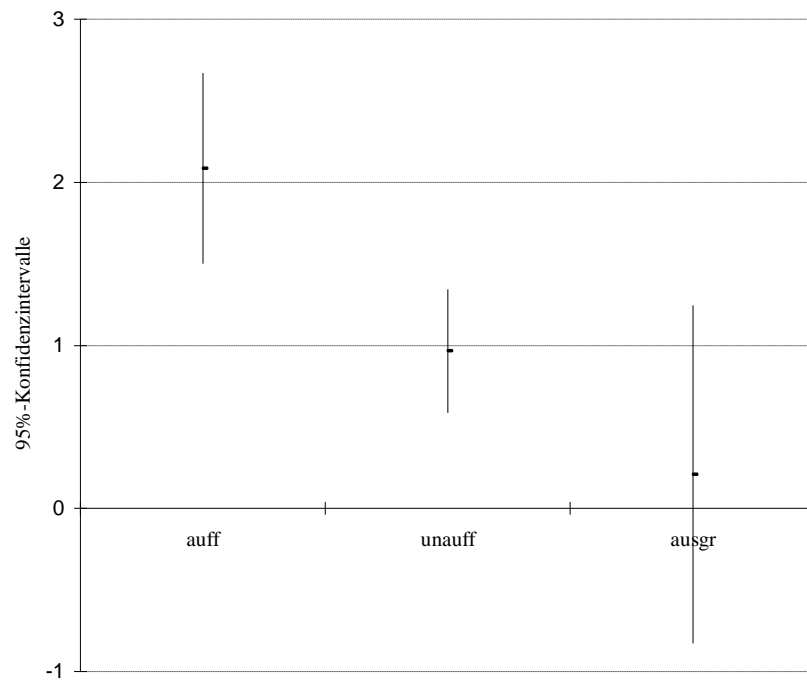
	D
Mann-Whitney-U	,000
Wilcoxon-W	10,000
Z	-2,309
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,021
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,029 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: KLINIK

Tab. 5.4: U-Test.

Eine grafische Darstellung der 95%-Konfidenzintervalle aus Tab. 5.2 bestätigt durch die Abgrenzung der klinisch auffälligen und unauffälligen Individuen die klaren Aussagen der Tests.

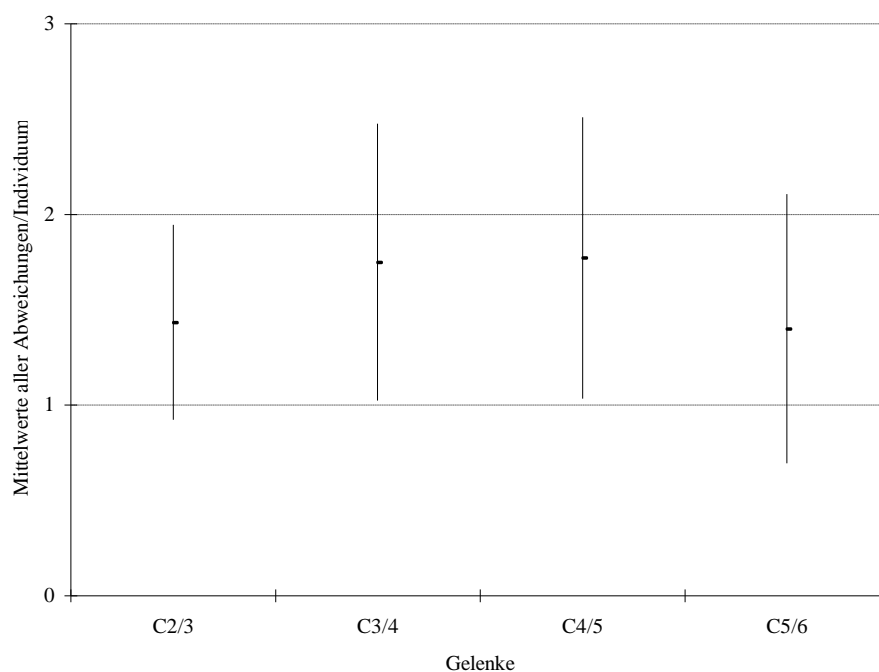


Dia. 5.1: 95%-Konfidenzintervalle der Mittelwerte aus allen Abweichungen pro Individuum. Die Konfidenzintervalle sind eingeteilt nach klinisch auffälligen und unauffälligen Individuen sowie der beiden Ausgrabungspferde. Trotz der geringen Stichprobenzahl ist die deutliche Abgrenzung der klinisch auffälligen Tiere von den unauffälligen und Ausgrabungspferden sichtbar. Der Punkt auf den Geraden repräsentiert den Mittelwert.

5.2.3.2. Die Halswirbelgelenke - bevorzugte Läsionsorte aller Befundtypen

Im Folgenden geht es darum, zu ermitteln, welche Gelenke möglicherweise bevorzugt von Abweichungen, egal welchen Typs, betroffen sind.

Nicht die einzelnen Wirbel, sondern die Gelenke werden als funktionale Einheit betrachtet. Für jedes Individuum außer den Ausgrabungspferden, deren Abweichungsvorkommen kaum von Belang ist, wird ein Mittelwert für alle Befundtypen gemeinsam pro Gelenk ermittelt, ohne Berücksichtigung der klinischen Auffälligkeit. Von jedem Pferd fließt ein Wert pro Gelenk ein und man erhält je acht Werte pro Gelenk. Es ergeben sich vier Stichproben entsprechend mit jeweils 8 Werten, die Anhalt geben könnten, ob bestimmte Gelenke bevorzugt betroffen sind. Die 95%-Vertrauensbereiche dieser Stichproben sind dargestellt.



*Dia. 5.2: 95%-Vertrauensbereiche der für die verschiedenen Halswirbelgelenke vorkommenden Abweichungen aller Schlachtpferde bei allen Befundtypen.
Der Punkt auf den Geraden repräsentiert den Mittelwert.*

Die Vertrauensbereiche sind nicht voneinander abgegrenzt. Es liegen Überschneidungen vor, jedoch sind unterschiedliche Tendenzen erkennbar.

Der Friedman-Test ist für die Feststellung signifikanter Unterschiede mehrerer verbundener Stichproben geeignet. Da $p > 0,05$ (0,256), ist bei dem geringen Stichprobenumfang kein signifikanter Unterschied zwischen den Wirbelgelenken aufgrund aller Befundtypen gemeinsam nachweisbar.

Ränge	
	Mittlerer Rang
C2_3	2,13
C3_4	2,75
C4_5	3,13
C5_6	2,00

Statistik für Test ^a	
N	8
Chi-Quadrat	4,050
df	3
Asymptotische Signifikanz	,256

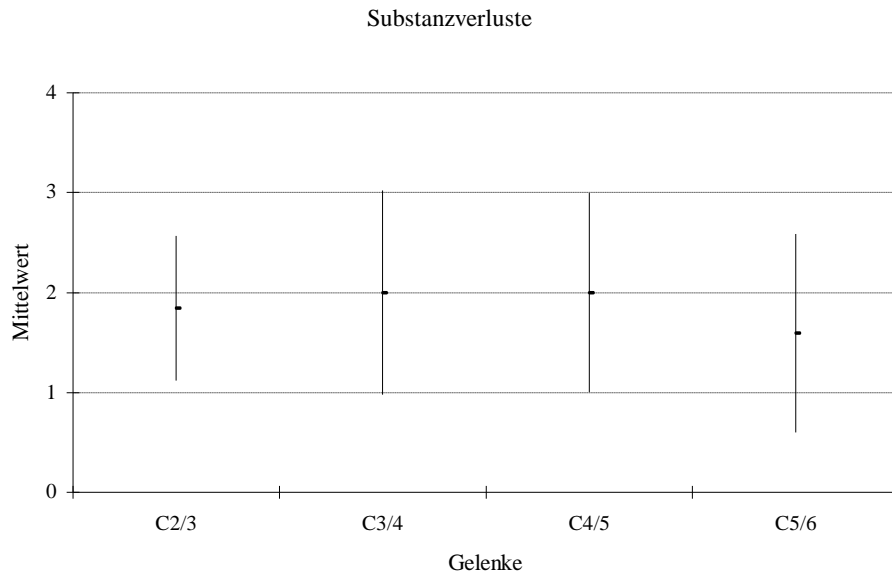
a. Friedman-Test

Tab. 5.5: Friedman-Test.

5.2.3.3. Die Halswirbelgelenke – bevorzugte Läsionsorte der verschiedenen Befundtypen

Nun wird dargestellt, ob und welche Gelenke möglicherweise bevorzugt von den vier Typen der Abweichungen, die die Grundlage für die Datenaufnahme bilden (Tab. 5.1), betroffen sind.

Die Mittelwerte der Abweichungen pro Schlachtpferd bilden getrennt nach Gelenken und Befundtypen die Stichprobengrundlage. Für die jeweilige Stichprobe ist der 95%-Vertrauensbereich errechnet.



Dia. 5.3: 95%-Konfidenzintervalle für die wahren Mittelwerte der Substanzverluste. Die Intervalle sind errechnet aus den jeweiligen Mittelwerten des Abweichtungstyps Substanzverlust (Sv)/Schlachtpferd. Der Punkt auf den Geraden repräsentiert den Mittelwert.

Bei den Substanzverlusten sind keine voneinander abgegrenzten Vertrauensbereiche für die Mittelwerte, die aus den Werten für die Substanzverluste pro Schlachtpferd gebildet wurden, zu verzeichnen. Da es sich um verbundene Stichproben handelt, wird kontrolliert, ob der Friedman-Test signifikante Unterschiede bestätigt.

Ränge

	Mittlerer Rang
C2/3	2,56
C3/4	2,50
C4/5	3,00
C5/6	1,94

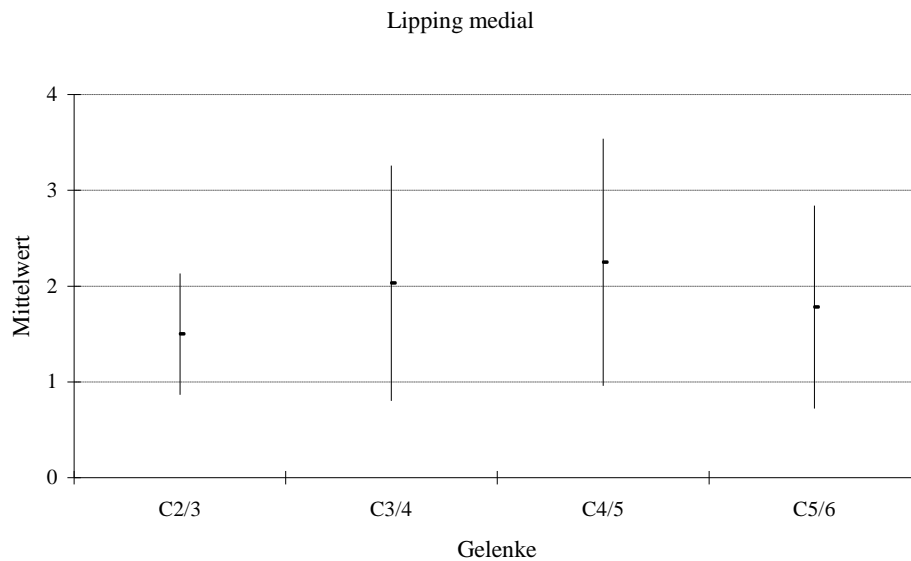
Statistik für Test^a

N	8
Chi-Quadrat	2,844
df	3
Asymptotische Signifikanz	,416

a. Friedman-Test

Tab. 5.6: Friedmann-Test.

Bezüglich der Substanzverluste ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Wirbelgelenken nachweisbar, da $p > 0,05$ (0,416).



*Dia. 5.4: 95%-Konfidenzintervalle für die wahren Mittelwerte des medialen Lippings.
Die Intervalle sind errechnet aus den jeweiligen Mittelwerten des Abweichtungstyps mediales Lipping
(Lm)/Schlachtpferd.
Der Punkt auf den Geraden repräsentiert den Mittelwert.*

Bezüglich des medialen Lippings ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Wirbelgelenken nachweisbar, da $p > 0,05$ (0,398).

Ränge

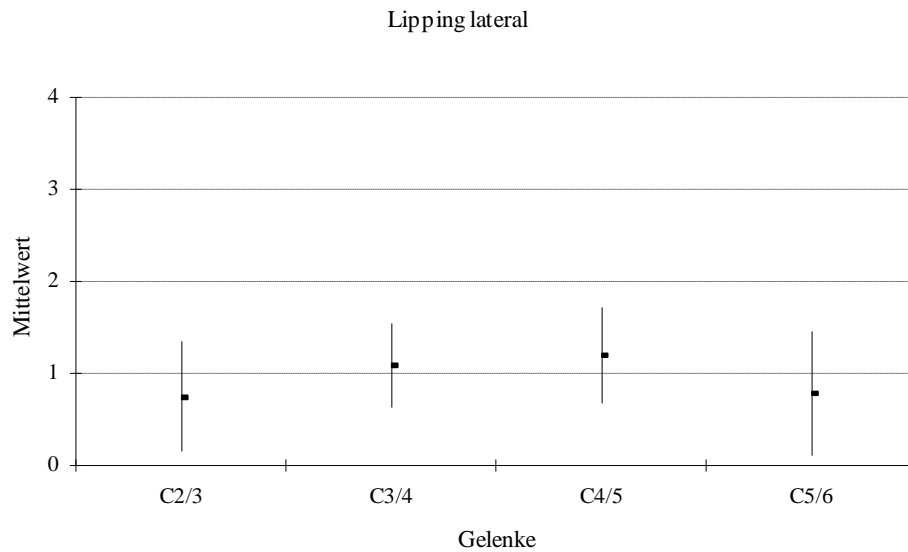
	Mittlerer Rang
C2/3	2,00
C3/4	2,88
C4/5	2,88
C5/6	2,25

Statistik für Test^a

N	8
Chi-Quadrat	2,961
df	3
Asymptotische Signifikanz	,398

a. Friedman-Test

Tab. 5.7: Friedmann-Test.



*Dia. 5.5: 95%-Konfidenzintervalle für die wahren Mittelwerte des lateralen Lippings.
Die Intervalle sind errechnet aus den jeweiligen Mittelwerten des Abweichtungstyps laterales Lipping (LI)/Schlachtpferd.
Der Punkt auf den Geraden repräsentiert den Mittelwert.*

Bezüglich des lateralen Lippings ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Wirbelgelenken nachweisbar, da $p > 0,05$ (0,143).

Ränge

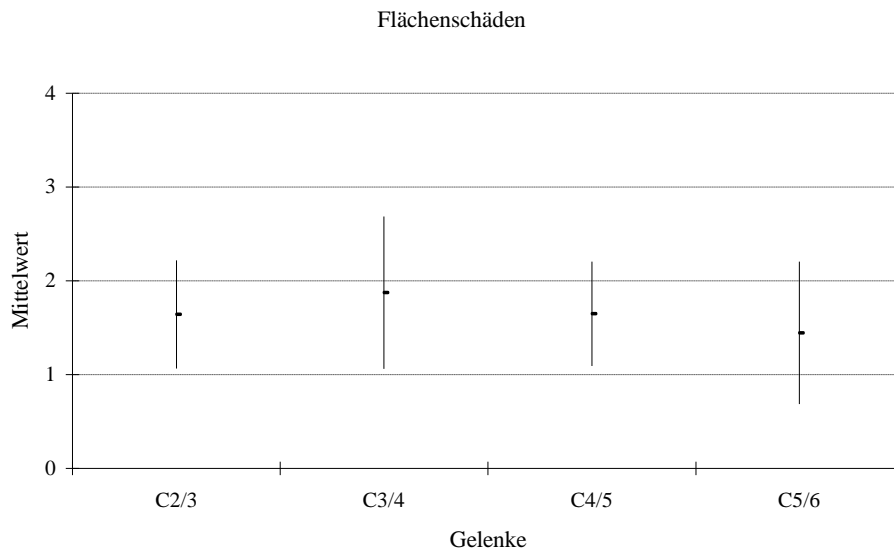
	Mittlerer Rang
C2/3	2,06
C3/4	2,75
C4/5	3,19
C5/6	2,00

Statistik für Test^a

N	8
Chi-Quadrat	5,435
df	3
Asymptotische Signifikanz	,143

a. Friedman-Test

Tab. 5.8: Friedmann-Test.



Dia. 5.6: 95%-Konfidenzintervalle für die wahren Mittelwerte der Flächenschäden. Die Intervalle sind errechnet aus den jeweiligen Mittelwerten des Abweichtungstyps Flächenschaden (Fs)/Schlachtperd. Der Punkt auf den Geraden repräsentiert den Mittelwert.

Bezüglich der Flächenschäden ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Wirbelgelenken nachweisbar, da $p > 0,05$ (0,225).

Ränge

	Mittlerer Rang
C2/3	2,50
C3/4	2,81
C4/5	2,94
C5/6	1,75

Statistik für Test^a

N	8
Chi-Quadrat	4,360
df	3
Asymptotische Signifikanz	,225

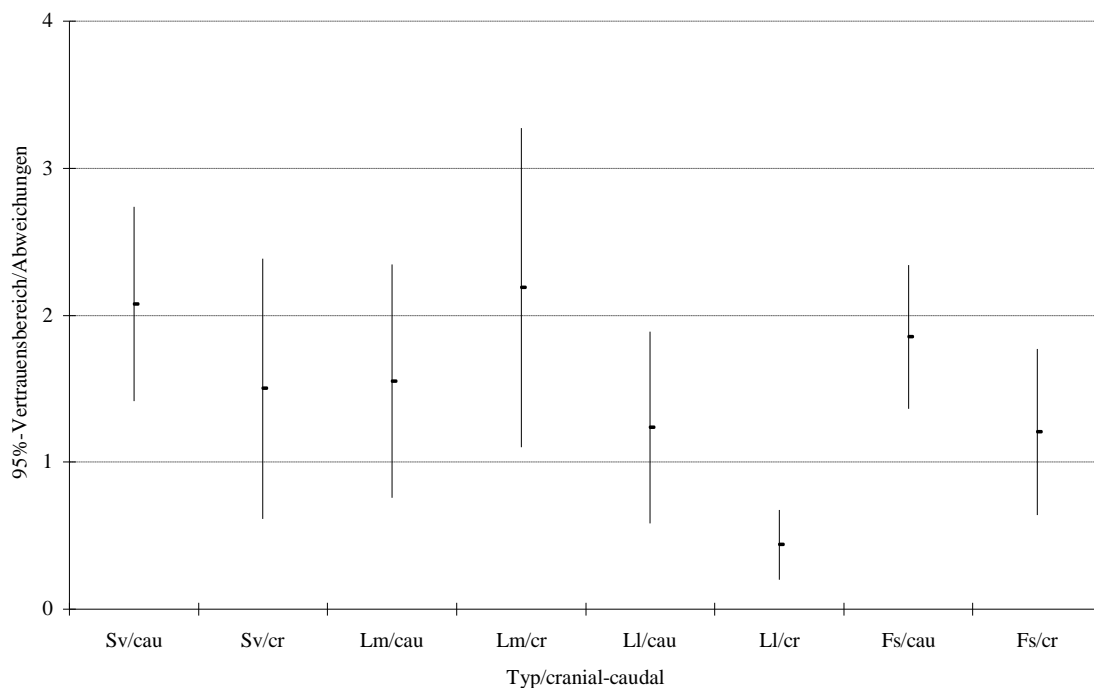
a. Friedman-Test

Tab. 5.9: Friedmann-Test.

Innerhalb keiner der Befundtypen sind deutlich voneinander abgrenzbare Vertrauensbereiche zu erkennen. Jedoch fällt eine Tendenz bei allen Befundtypen auf. Das Gelenk C5/6 liegt bei allen vier Befundtypen mit seinem Vertrauensbereich tiefer. Beim Lipping lateral überschreitet der mit 95-prozentiger Sicherheit angenommene Bereich, in dem sich der wahre Mittelwert befindet, nicht die Grenze bei zwei (in diesem Fall Mittelwert der acht Schlachtperde). Das Lipping medial weist besonders bei den Gelenken C3/4 bis C5/6 höher liegende Vertrauensbereiche auf.

5.2.3.4. Die cranialen und caudalen Facies der Wirbel - bevorzugte Läsionsorte verschiedener Befundtypen

Die Grade der Abweichungen pro Befundtyp und nach cranialer und caudaler Facies getrennt bilden einen Mittelwert pro Individuum. Die verschiedenen Gelenke und die klinische Auffälligkeit wurden hierbei nicht berücksichtigt. Jede Stichprobe umfasst also acht Werte von den acht Individuen ohne die beiden Pferde aus der Ausgrabung.



*Dia. 5.7: 95%-Vertrauensbereiche der Abweichungen aller Schlachtpferde an den cranialen/caudalen Facies bei den verschiedenen Befundtypen.
Der Punkt auf den Geraden repräsentiert den Mittelwert.*

Bei allen 4 Befundtypen sind keine voneinander abgegrenzten Vertrauensbereiche vorhanden. Beim Lipping lateral liegt jedoch die geringste Überschneidung vor. Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben können eventuelle Signifikanzen ermittelt werden.

Ränge

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
SV/CR - SV/CAU Negative Ränge	6 ^a	5,33	32,00
Positive Ränge	2 ^b	2,00	4,00
Bindungen	0 ^c		
Gesamt	8		

a. SV/CR < SV/CAU

b. SV/CR > SV/CAU

c. SV/CAU = SV/CR

Statistik für Test^b

	SV/CR - SV/CAU
Z	-1,960 ^a
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,050

a. Basiert auf positiven Rängen.

b. Wilcoxon-Test

Tab. 5.10: Wilcoxon-Test.

Beim Substanzverlust ist die caudale Wirbelseite signifikant* stärker betroffen als die craniale, da $p \leq 0,05$ (0,05).

Ränge

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
LM/CR - LM/CAU Negative Ränge	0 ^a	,00	,00
Positive Ränge	8 ^b	4,50	36,00
Bindungen	0 ^c		
Gesamt	8		

a. LM/CR < LM/CAU

b. LM/CR > LM/CAU

c. LM/CAU = LM/CR

Statistik für Test^b

	LM/CR - LM/CAU
Z	-2,521 ^a
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,012

a. Basiert auf negativen Rängen.

b. Wilcoxon-Test

Tab. 5.11: Wilcoxon-Test.

Beim medialen Lipping ist die craniale Wirbelseite signifikant* stärker betroffen als die caudale, da $p \leq 0,05$ (0,012).

Ränge

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
LL_CRAN - LL_CAU	Negative Ränge	6 ^a	5,50	33,00
	Positive Ränge	2 ^b	1,50	3,00
	Bindungen	0 ^c		
	Gesamt	8		

a. LL_CRAN < LL_CAU

b. LL_CRAN > LL_CAU

c. LL_CAU = LL_CRAN

Statistik für Test^b

	LL_CRAN - LL_CAU
Z	-2,103 ^a
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,035

a. Basiert auf positiven Rängen.

b. Wilcoxon-Test

Tab. 5.12: Wilcoxon-Test.

Beim Lipping lateral ist die caudale Wirbelseite signifikant* stärker betroffen als die craniale, da $p \leq 0,05$ (0,035).

Ränge

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
FS_CR - FS_CAU Negative Ränge	8 ^a	4,50	36,00
Positive Ränge	0 ^b	,00	,00
Bindungen	0 ^c		
Gesamt	8		

a. FS_CR < FS_CAU

b. FS_CR > FS_CAU

c. FS_CAU = FS_CR

Statistik für Test^b

	FS_CR - FS_CAU
Z	-2,524 ^a
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,012

a. Basiert auf positiven Rängen.

b. Wilcoxon-Test

Tab. 5.13: Wilcoxon-Test.

Beim Flächenschaden ist die caudale Wirbelseite signifikant* stärker betroffen als die craniale, da $p \leq 0,05$ (0,012).

5.2.3.5. Lipping der Facies articulares lateral und medial – bevorzugter Läsionsort

Im vorangegangenen Diagramm (Dia. 5.7) deutet sich ein grundsätzlich geringeres Aufkommen des Lippings an der medialen Seite der Facies articularis der kleinen Wirbelgelenke an als an der lateralen Seite. Zur Ermittlung, ob eine statistische Signifikanz dieses bestätigt, werden die Werte aller Schlachtpferde für die beiden Befundtypen mit dem Wilcoxon-Test untersucht.

Ränge		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
LL - LM	Negative Ränge	8 ^a	4,50	36,00
	Positive Ränge	0 ^b	,00	,00
	Bindungen	0 ^c		
	Gesamt	8		

a. LL < LM

b. LL > LM

c. LM = LL

Statistik für Test^b

	LL - LM
Z	-2,524 ^a
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,012

a. Basiert auf positiven Rängen.

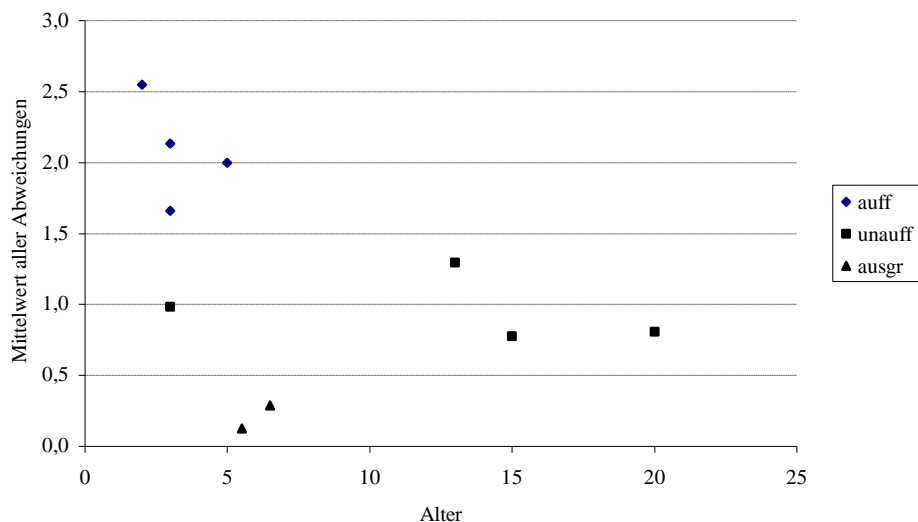
b. Wilcoxon-Test

Tab. 5.14: Wilcoxon-Test.

Das mediale Lipping ist signifikant* stärker als das laterale, da $p \leq 0,05$ (0,012).

5.2.3.6. Abhängigkeit vom Alter

Die Mittelwerte aller Abweichungen aller Abweichungstypen (Sv, Fs, Lm und Ll) aus Tab. 5.1 der Individuen, auch die der beiden Ausgrabungspferde, werden in folgendem Diagramm in Abhängigkeit zum Alter der Tiere dargestellt. Dabei sind die Gruppen der klinisch auffälligen, der unauffälligen und der Ausgrabungsindividuen gesondert dargestellt. Unbedingt ist zu beachten, dass klinisch auffällige Tiere spätestens mit dem Eintritt in das Reitpferdeleben als solche erkannt werden und dann fast immer wegen Unnutzbarkeit getötet werden.

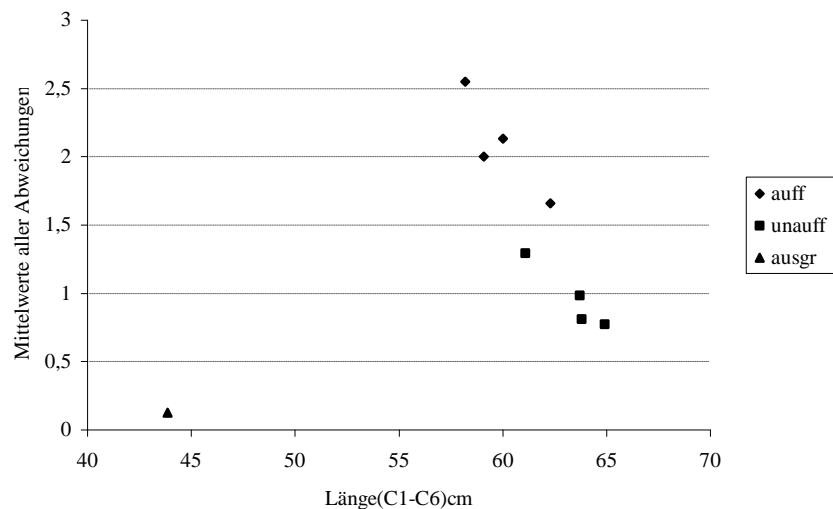


*Dia. 5.8: Abweichungen an den Halswirbeln in Abhängigkeit vom Alter.
Mittelwert aller Abweichungen: Mittelwert, ermittelt aus allen vorkommenden Werten eines Individuums aus Tab. 5.1.
auff: klinisch auffällig,
unauff: klinisch unauffällig,
ausgr: aus Ausgrabungen (um 1300 n.Chr.).*

Die Pferde mit den höchsten Abweichungsindices sind auch die klinisch auffälligen Tiere. Sie sind ≤ 5 Jahre. Bei den unauffälligen Tieren ist ein Pferd in dem selben Altersbereich wie die klinisch auffälligen zu finden, die 3 anderen sind zwischen 10 und 20-jährig. Die beiden Ausgrabungspferde sind ebenfalls jung; sie wurden zur Grabbeigabe ausgewählt und nicht wegen Unnutzbarkeit getötet. Sie sind zur Dokumentation der grundsätzlich geringen Abweichungsindices bei Pferden aus Ausgrabungen beigelegt.

5.2.3.7. Abhängigkeit von der Länge der Halswirbelsäule

Zur Errechnung der Länge der Halswirbelsäule stehen die Wirbel C1 bis C6 bei den 8 Schlachtpferden sowie bei einem Ausgrabungsindividuum zur Verfügung (C7 wurde bei der Zerteilung der Pferdekörper zerstört). Dazu werden die physiologischen Längen (Abb. 5.4) der Wirbelkörper addiert. Das Ergebnis ist in Dia. 5.9 in Beziehung zu den Mittelwerten aller Abweichungen der einzelnen Individuen graphisch dargestellt.



Dia. 5.9: Die Mittelwerte aller Abweichungsgrade der 8 Schlachtpferde sowie einem Pferd aus einer Ausgrabung in Abhängigkeit zur Längensumme der Wirbelkörper C1 bis C6 in cm.

*auff: klinisch auffällig,
unauff: klinisch unauffällig,
ausgr: aus Ausgrabungen (um 1300 n. Chr.).*

Eine weitere Auswertung mittels linearer Regression erübrigt sich, da das Längenwachstum der Wirbelkörper erst mit dem 10 Lebensjahr abschließt (Müller 1985) und somit bei den Schlachtpferden eine Folge der Altersabhängigkeit ist, d.h. ältere Pferde haben die längere Halswirbelsäule. Pferde mit schwereren Schäden werden jung geschlachtet (siehe auch Dia. 5.8), deswegen müssen die Pferde mit der längeren Halswirbelsäule auch gesünder sein. Den geringsten Mittelwert aller Abweichungen hat das Ausgrabungspferd.

5.2.3.8. Abhängigkeit von der Länge und dem Längenbreitenindex des Metacarpus

Der Metacarpus hat im Gegensatz zu den Wirbeln mit einem Jahr, bei kleinen Pferden mit 1,5 Jahren sein Längenwachstum abgeschlossen. Um eventuelle Abhängigkeiten festzustellen, werden die größten Längen der Metacarpen (GL, siehe Kap. 11.1.1. , S. 200 ff.) sowie deren Längenbreitenindices (LBI = Maß für die Breitwüchsigkeit, siehe Kap. 11.3.2. , S. 210 ff.) in Beziehung zu den Mittelwerten (ermittelt für jedes Individuum) aller Abweichungen an den Wirbeln gesetzt und die Parameter der Regressionsstatistik errechnet.

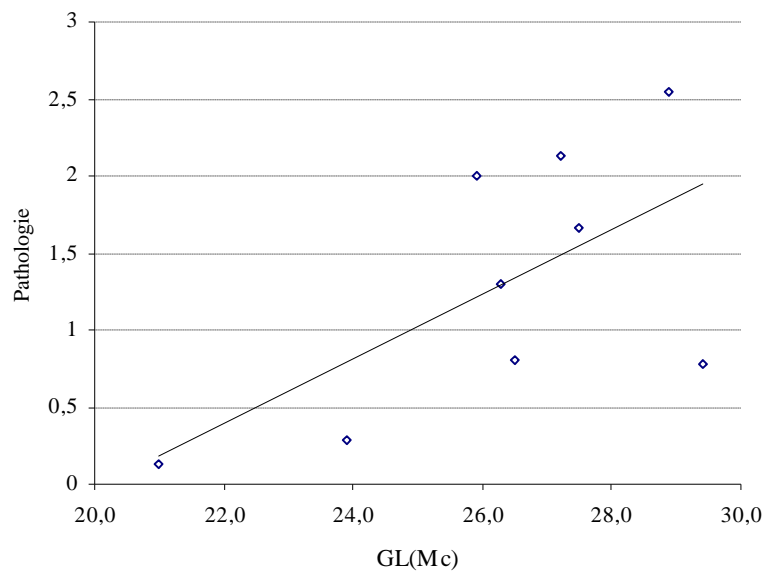
<u>Regressions-Statistik</u>	<u>GL_Mc</u>	<u>LBI_Mc</u>
Multipler Korrelationskoeffizient	0,63	0,18
Bestimmtheitsmaß	0,40	0,03
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,32	-0,11
Standardfehler	0,70	0,89
Beobachtungen	9,00	9,00
Signifikanz	0,07	0,65

Tab. 5.15: Regressionsparameter zur Bestimmung der Abhängigkeit des Vorkommen von Abweichungen an der Halswirbelsäule von den Längen der Metacarpen sowie den Längenbreitenindices der Metacarpen.

*GL_Mc: größte Länge des Metacarpus,
LBI_Mc: Längenbreitenindex des Metacarpus.*

Eine Abhängigkeit zur Länge des Metacarpus sollte aufgrund des Ergebnisses nicht ausgeschlossen werden (Tab. 5.15), ist aber wegen der geringen Stichprobenzahl bei diesem Material nicht signifikant.

Beim Längenbreitenindex kann mit Hilfe diesen Materials keine Abhängigkeit nachgewiesen werden.



*Dia. 5.10: Pathologie der Halswirbel in Abhängigkeit zur größten Länge des Metacarpus.
Eine Abhängigkeit der Defekte an den Halswirbeln (Mittelwert aus allen Abweichungen aus Tab. 5.1 jedes Individuums) von der größten Länge des Metacarpus (GL(Mc) aus Tab. 11.4) ist möglich, aber mit dem geringen Stichprobenumfang ist keine Signifikanz nachweisbar.*

5.3. Diskussion

5.3.1. Vergleich zu Pferden aus Ausgrabungen

Pferde aus Ausgrabungen haben fast vollständig ideale Processus articulares der Halswirbel. Sicherlich waren die Archäozoologen, die solche Pferdeskelette bisher bearbeitet haben, nicht explizit auf Veränderungen an diesen Stellen fixiert. Wären an Ausgrabungspferden jedoch Läsionen aufgetreten, wie sie zum Teil schon bei den klinisch unauffälligen Pferden dieser Untersuchung vorkommen, hätte man sie wegen des untypischen Erscheinungsbildes entdeckt, ganz abgesehen von Befundstärken, wie sie die auffälligen Tiere zeigen. Die Tatsache, dass Cervicalwirbel oft nicht gut erhalten sind, dürfte daran nichts ändern, da der schlechte Materialzustand bei den Grabungspferden durch größere Individuenzahlen mehr als kompensiert wird. So konnte z.B. an 109 Tieren aus dem heutigen Tschechien kein einziges pathologisches Merkmal dieser Art an den Halswirbeln entdeckt werden (Ambros, Müller 1980).

5.3.2. Osteochondrose als mögliche Hauptursache

Die Läsionen befinden sich an den Processus articulares, die deutlich später ossifizieren als der Rest des Skeletts (Schütte 2005). Möglicherweise kann dieses in Kombination mit der naturgemäß durch die große Beweglichkeit höheren Belastung der Halswirbelsäule zu einer großen Empfänglichkeit für osteochondrale Schäden an den Processus articulares führen. Die Risse und Fissuren, die in der vorliegenden Auswertung zu einem Anstieg des Flächenschadens führen, machen auf den ersten Blick den Eindruck einer mechanischen Einwirkung auf das Material, das der Belastung nicht standhalten konnte (Abb. 5.14).

1991 wurden Ergebnisse veröffentlicht, die bei einem Vergleich von an Ataxie erkrankten und klinisch unauffälligen Vollblütern die Häufigkeit osteochondraler Veränderungen der Halswirbel in beiden Gruppen als gleich auswiesen. Es war also grundsätzlich Osteochondrose der Halswirbel vorhanden. Der Schweregrad sei bei den erkrankten Tieren jedoch als höher einzustufen (Stewart et al. 1991). In dieser Arbeit wird also die Osteochondrose als primäre Ursache für ataktische Schwierigkeiten angenommen.

Auch die Arbeit Mechlenburgs (Kap. 5.1.5. , S. 117 ff.), in der die Ergebnisse an klinisch völlig unauffälligen Pferden aller Altersklassen veröffentlicht sind (Mechlenburg 1967), beweist ein obligatorisches Vorhandensein osteochondraler Defekte, wenn auch im Jahre 1967 die Betonung noch nicht so sehr auf dem Osteochondrose-Begriff lag.

Somit könnte ein kausaler Zusammenhang zwischen der nicht verletzungsbedingten spinalen Ataxie und osteochondralen Veränderungen häufiger bestehen, als bisher angenommen und wahrscheinlich sogar obligatorisch sein.

Auch in der vorliegenden Arbeit weisen sowohl klinisch unauffällige und auffällige Tiere osteochondrale Defekte auf. Der Schweregrad ist jedoch bei den auffälligen Tieren signifikant höher. Dieses stimmt mit den oben erwähnten Vollblütern überein. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse Mechlenburgs, die Läsionen des Rückenmarks selbst bei unauffälligen Tieren als obligatorisch auswiesen, ist davon auszugehen, dass heutzutage bei vielen Tieren im Halswirbelbereich Fehlbildungen vermutet werden können, die eine Einengung des Spinalkanals begünstigen.

5.3.3. Bevorzugte Läsionsorte durch Belastungen

Die Ermittlung bevorzugter Läsionsorte an den Halswirbelgelenken für alle Befundtypen ergibt zunächst nur andeutungsweise, ohne bei diesem geringen Stichprobenumfang eine statistische Signifikanz nachweisen zu können, für C5/6 eine geringere Tendenz Läsionen zu tragen. Auch für das Gelenk C2/3 könnte das zutreffen.

Auch differenzierter betrachtet, also für die Befundtypen Lipping, Flächenschaden und Substanzverlust, scheinen dieselben Gelenke bevorzugte Läsionsorte sein zu können, was zukünftig mit einem höheren Stichprobenumfang zu untersuchen wäre.

Substanzverluste sind am caudalen Rand der Facies articulares caudalis der Halswirbel signifikant ausgeprägter als am cranialen Rand der Facies articulares craniales. Der caudale Rand der Facies articularis caudalis wird bei gehobenem Kopf offensichtlich stärker beansprucht als der craniale Rand der Facies articulares cranialis (Abb. 5.19). Mit der Abbildung wird schnell klar, dass in dieser Stellung die Druckbelastung auf diese Teile besonders stark ist. So ist hier das Vorkommen sowohl von Altersarthrosen als auch von osteochondralen Schäden bevorzugt anzutreffen. Für die osteochondralen Schäden ist die späte Verknöcherung zudem ein forcierender Faktor. Züchterische Maßnahmen haben die Halsschwingung in diesem Bereich stärker ausgeprägt (Kap. 5.1.4. , S. 115 ff.), so dass schon von der Konfiguration her eine Tendenz zur dauerhaften Stellung der Wirbel wie in der cervicalen Streckung besteht, die ihre Auswirkungen haben dürfte. Erschwerend kommt hinzu, dass in den schnelleren Gangarten, die einer Federschwingung unterliegen (Witte et al. 1995b), (Abb. 4.14, Kap. 4.1.6. , S. 44 ff.), sich Scapula und die Wirbel C3 bis C7 aufeinander durch muskuläre Verbindungen zu bewegen (Denoix, Pailloux 2000). Im Moment des Einschwingens, der in der Stützbeinphase liegt, wird der Kopf- und Halsbereich besonders über dem an den Processus transversus ansetzenden Musculus serratus ventralis cervicis getragen (Loeffler 1994) (Abb. 5.8). Dadurch wird die Streckung noch einmal verstärkt. Pferde mit Osteochondrose-Problemen im Gliedmaßenbereich weisen auch in der Halswirbelsäule schwerere Schäden als Tiere mit gesunden Gliedmaßen auf (Stewart et al. 1991). Das Einschwingen ist in Kap. 4.3. (S. 90 ff.) als Hauptauslöser für die osteochondralen Schäden an den Gliedmaßen herangezogen. Allein schon deswegen ist auch die Möglichkeit von Auswirkungen der Schwingungsmechanismen auf die Halswirbelsäule gegeben. Auch hier sind weitere Untersuchungen mit größeren Stichprobenumfängen angezeigt.

Flächenschäden geben die Schäden der gesamten Gelenkfläche wieder und dieses Kriterium kooperiert daher mit den Substanzverlusten. Die Flächenschäden sind ebenfalls an der Facies articularis caudalis signifikant ausgeprägter.



Abb. 5.19: Die Wirbel C3 und C4 in cervicaler Streckung (Kopf oben) des Halses. Die Stellung der Wirbel zueinander ist zur besseren Verdeutlichung übertrieben dargestellt. Im Gebiet des Pfeils hat die Facies articularis caudalis mit ihrem caudalen Rand Kontakt zur cranialen Facies des folgenden Wirbels. Die caudalen Facies haben an ihrem caudalen Rand ein deutliches Aufkommen an Substanzverlusten bei allen Tieren. Zuzüglich bieten die spät ossifizierenden Facies articulares offensichtlich eine prädestinierte Basis für osteochondrale Schäden.



Abb. 5.20: Die Wirbel C3 und C4 in cervicaler Beugung (Kopf unten) des Halses. Die Stellung der Wirbel zueinander ist zur besseren Verdeutlichung übertrieben dargestellt. Diese Haltung, in der automatisch die cranialen Ränder der cranialen Facies articulares zu Substanzverlusten führen, ist weniger schadensauslösend als die cervicale Streckung. Der Pfeil deutet auf die Schadensstelle.

Bei den cranialen Facies kommt ein mediales Lipping signifikant häufiger und ausgeprägter vor als bei den caudalen Facies. Die craniale Facies liegt unter der mit ihr jeweils artikulierenden caudalen Facies innerhalb der Halswirbelsäule (Abb. 5.20). Auch ohne eine besondere Stellung des Halses rutschen die Processus articulares des vorhergehenden Wirbels gewissermaßen in die druckaufnehmende Facies articularis cranialis hinein. Dieses wird nicht zuletzt durch die trichterförmige Anordnung der linken und rechten Facies zueinander erzeugt (Abb. 5.21). So landet dieser Druck im tiefsten Punkt des Trichters, am medialen Rand der Facies articularis craniales (Abb. 5.21). Eine entsprechende Länge des Halses dürfte durch die zu überwindenden Hebelkräfte diesen Zustand noch verschärfen. Auch könnte die späte Ossifikation der Processus articulares das Hineinrutschen durch die noch bestehende Weichheit des Gewebes forcieren.

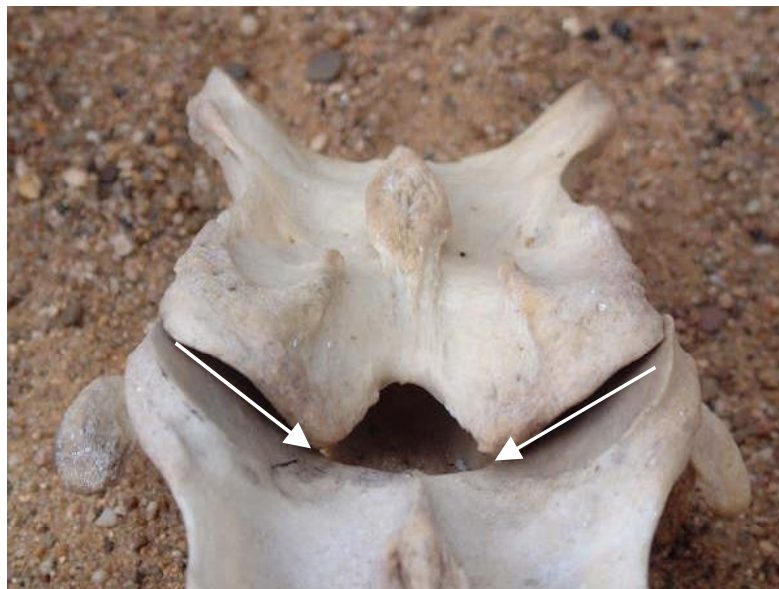


Abb. 5.21: Dorsocaudale Aufsicht auf die gelenkige Verbindung von caudalen und cranialen Facies. Die Stellung der Gelenkflächen erinnert an zwei ineinander greifende Zeltdächer. Beim Laufen des Tieres wird durch das Abfangen des Gewichtes von Kopf und Hals in der Stützbeinphase die caudale Facies des vorangehenden Wirbels (oben) in die Facies des nachfolgenden Wirbels (unten) hineingezogen. Der entstehende Druck auf das noch unfertige Knochenmaterial der Processus articulares könnte das gehäuft auftretende mediale Lipping cranial bedingen. Die Pfeile zeigen die Richtung des Druckes auf das Material der cranialen Facies. Die Strukturen auf dem Rand der für das Lipping prädestinierten Gelenkflächen (Kap. 7. , S. 175 ff.) sind dieselben, die auch an anderen Stellen im Pferdekörper vorkommen, die gehäuft Lipping tragen. Sie verlaufen als feine, parallele Linien in Richtung des Lippings.

Auf die caudalen Facies articularis wird umgekehrt eine Druckrichtung erzeugt, die das laterale Lipping erzeugen kann. Beide Facies beeinflussen sich also gegenseitig. Das laterale Lipping spielt eine eher untergeordnetere Rolle. Vom lateralen Lipping ist die caudale Facies signifikant stärker betroffen. Hier entsteht Druck durch das Hineinrutschen der nachfolgenden

Processus in laterale Richtung (man möge sich das in Zeltdachform vorstellen) (Abb. 5.21). Die in Kap. 7. (S. 175 ff.) vorgestellten Strukturen auf den Gelenkflächen weisen auf den Facies articularis deutlich erkennbare Linien in Richtung des jeweiligen Lippings auf. Aber auch, ohne dass es zur Ausprägung von Abweichungen kommt, verlaufen die Linien in diese Richtung (Abb. 7.9). Anders als bei den Wirbeln C3 bis C7 ist beim Wirbel C2 (Axis) die Zugrichtung der Linien in canial-caudale Richtung vorhanden. Die Form der Gelenkfläche ist nicht queroval, sondern eher kreisrund.

Ähnliche Ausbildungen von scharfen Rändern und Lipping druckaufnehmender Knochenteile kommt auch an anderen Stellen im Pferdekörper vor. Ein bekanntes Beispiel ist die Facies articularis proximalis der Phalanx I, die bei arthrotischen Prozessen zunächst scharfe Ränder bildet (Abb. 5.22). Hier reibt die distale Facies des Metacarpus nach dem Aufsetzen des Beines in die Richtung des Palmarrandes der Phalanx I, an dem das Lipping zunächst in Form von Scharfrandigkeit häufig auftritt. Auch hier verlaufen feine Linien in Richtung des möglichen oder schon vorhandenen Lippings. Auch die proximale Facies des Metatarsus, von „Spat“ durch hohe dorsale Belastung im Sprunggelenk zwangsläufig mit betroffen, weist diese Strukturen am Dorsalrand auf.



*Abb. 5.22: Palmaransicht von zwei Phalanges I.
Die linke Phalanx weist deutlich scharfe Ränder an ihrer proximalen Facies auf. Diese sind Bestandteil arthrotischer Prozesse und infolge andauernder Druckbelastung entstanden. Die rechte Phalanx ist ohne Befund.*

Insgesamt weisen bezüglich der Halswirbel viele und auch vielfältige Ergebnisse darauf hin, dass wir es bei den Ursachen der Ataxie mit Veränderungen von ansetzenden Kräften zu tun haben könnten, denen die Knochen nicht standhalten können.

5.3.4. Zusammenhänge mit Größe, Halslänge, Breitwüchsigkeit und Alter

Bei den Ausgrabungstieren, die annähernd gar keine Läsionen aufweisen, handelt es sich meist um Tiere, die eine Widerristhöhe ähnlich der unserer Ponies bis Großponies (bis 1,48m) aufweisen, so dass ein grundsätzlicher Größenzusammenhang angenommen werden könnte. Mit dem vorliegenden Material, sicherlich in der Stichprobenzahl zu gering für eine Auswertung, ist zwar keine Signifikanz nachweisbar. Die grafische Darstellung der wenigen in dieser Arbeit verfügbaren Werte (Tab. 5.15 und Dia. 5.10) zeigt jedoch, dass ein genereller Zusammenhang der Längen des Metacarpus mit Problemen an den Processus articulares bestehen könnte. So ist es nicht erstaunlich, dass schon in früheren Untersuchungen ein Zusammenhang zwischen besonders großwüchsigen Tieren und der Ataxie-Problematik ermittelt wurde (Mayhew et al. 1978, Nixon et al. 1982, Mayhew 1989). Ein Zusammenhang mit der Länge der Halswirbelsäule, die ebenso mit der Widerristhöhe kooperiert wie die Länge der Metacarpen (Kiesewalter 1888), ist mit dem vorliegenden Material wegen des lange anhaltenden Wachstums der Wirbel nicht nachzuweisen. Das Längenwachstum der Wirbelkörper erfolgt über eine craniale und eine caudale Epiphysenfuge. Die craniale Epiphysenfuge schließt sich mit dem 5. Lebensjahr. Bis die caudale Epiphyse bei allen Wirbeln geschlossen ist, kann das Tier 10. Jahre alt sein (Müller 1985), was zeigt, wie lange sich das Längenwachstum der Wirbelsäule hinziehen kann. Zudem ist es ungeklärt, inwieweit auch danach noch Längenveränderungen der Wirbelsäule erfolgen, ähnlich wie auch Längenveränderungen des Ober- und Unterkiefers aufgrund der lebenslangen Kaudrücke bekannt sind. Zusammenhänge mit der Halswirbelsäulenlänge sollten also bei altersgleichen, ausgewachsenen Tieren ermittelt werden.

Eine Altersabhängigkeit zu ermitteln ist bei Untersuchungen von Schlachtknochen fragwürdig, da die nicht verletzungsbedingte spinale Ataxie dieser Untersuchung in der Hauptsache auf osteochondrale Schäden zurückzuführen ist, die schon im Fohlenalter entstehen (Kroll et al. 2001). Da die Symptome schwerwiegend sind, dürfte kaum ein ataktisches Pferd älter als zehn Jahre werden.

Die hier untersuchten vier klinisch auffälligen Individuen sind zwischen 1 und 3 Jahre alt. Die anderen vier Schlachttiere sind bis auf ein Individuum älter. Es kann angenommen werden, dass schwere Fälle schon im Fohlenalter erkannt werden, während leichtere Fälle spätestens mit dem Eintreten in die Reitpferdenutzung erkannt werden. Die Knochen der Schlachtpferde entstammen Schlachtungen aus den Monaten Januar bis März. Die meisten Fohlen werden erst später im Jahr geboren. Diejenigen, die schon geboren sind, haben möglicherweise ihre eventuelle klinische Auffälligkeit noch nicht manifestiert. Schlachter A sah es als natürliche Gegebenheit, dass die „Fohlen(schlacht)saison“ bei ihm ca. im Mai beginnt.

Die Breitwüchsigkeit ist ein Maß für die Knochenbreite und zeigt, ob das Pferd eher ein schlanker Vollbluttyp ist oder eher ein schwerer Kaltblüter. Sie kann bei diesem geringen Stichprobenumfang nicht als abhängiger Faktor identifiziert werden (Tab. 5.15). Schlanke, leichte Pferde sind eher von Osteochondrose im Fesselgelenk betroffen. Dies kann auf einen Zusammenhang mit Federungsmechanismen im Fesselgelenk hindeuten, die bei schlanken, leichten Tieren ausgeprägter sein dürften (Kap. 4.3.6. S. 96 ff.). Es wäre wünschenswert, wenn zukünftig mit großem Stichprobenumfang ermittelt werden könnte, ob die Breitwüchsigkeit und damit die Federungsmechanismen auch Auswirkungen auf die Gesundheit der Halswirbelsäule haben könnte.

5.3.5. Wirtschaftlicher Nutzen weiterer Untersuchungen

Die schon vor 40 Jahren erzielten Ergebnisse (Mechlenburg 1967) (Kap. 5.1.5. , S. 117 ff.), die bei 24 von 28 klinisch unauffälligen Tieren Achsenzylinderödeme und Demyelinisierungen ausweisen, zeigen, dass dieses auch für die vorliegenden klinisch unauffälligen Tiere anzunehmen ist und für die auffälligen Tiere als sicher gilt. Die Kompensationsmöglichkeiten der Tiere scheinen in der Tat hoch zu sein. Es erscheint unklar, warum nach der Veröffentlichung der Arbeit Mechlenburgs kein weiteres Interesse bestand, die Ätiologie weiter aufzuklären, da 24 von 28 klinisch unauffälligen Tieren Schäden am Rückenmark aufwiesen. Interessant wäre es sicher, zu klären, inwieweit sich die Läsionen, die zunächst klinisch nicht auffallen, sich auf die Rittigkeit im Hinblick auf Lektionen, die höhere koordinative Ansprüche an das Pferd stellen, auswirken. Jedem Züchter ist das Phänomen des aufgrund seiner Grundgangarten vielversprechenden 3- und 4-jährigen Pferdes bekannt, von dem man „später aber nichts mehr hört“. Gibt es da Zusammenhänge?

Tiere mit Schäden am Rückenmark als Zuchtziel sind sicher nicht beabsichtigt. Die Untersuchungen Mechlenburgs und die Ergebnisse der vorliegenden Skelette deuten jedoch darauf hin, dass dieses bei den rezenten Warmblütern unerwünscht häufig sein könnte. Zusammenhänge mit der Lage der Scapula und den Federungsmechanismen können angenommen werden. Eine weitere Investition in Folgeuntersuchungen mit größeren Stichprobenumfängen wäre zwar nicht von sofortigem wirtschaftlichem Nutzen, da die Tiere ja auch so laufen. Langfristig wäre aber ein Züchterverband, der gezielt im Halswirbelbereich gesunde Tiere anbieten kann, im Vorteil. Merkmale im Hals- und Gliedmaßenbereich sollten bei Pferden mit guten Bewegungskapazitäten und dennoch akzeptabler Skelettgesundheit genauer spezifiziert werden, um den Merkmalen Gebäude, Bewegungsablauf und Gesundheit gleichermaßen gerecht zu werden.

6. Typen der Facies articularis proximalis der Metapodien

6.1. Grundlagen

An den Knochenenden sind die Gelenkflächen gut erkennbar, weil die ehemals mit Gelenkknorpel überzogene Knochenoberfläche wesentlich glatter ist als die umgebenden Knochenteile (Abb. 2.10). Diese eindeutige Erscheinung erlaubt Vergleiche von Gelenkflächen.

Schon bei der Bearbeitung der 1200 Jahre alten Rullstorfer Pferdeskelette (Becker 2007) waren Variationen der Gelenkflächen verschiedener Individuen aufgefallen, die an der Facies articularis proximalis der Metatarsen besonders gut sichtbar sind. Im Zuge der Bearbeitung des hier vorliegenden Materials wird sichtbar, dass auch die proximalen Gelenkflächen der Metacarpen Variationen unterliegen. Mögliche grundsätzliche Zusammenhänge mit Belastungssituationen könnten ausschlaggebend für die Variationen und wichtig für eine Anhäufung arthrotischer Erkrankungen sein. Aus diesem Grund werden die Variationen der Gelenkflächen in diese Arbeit aufgenommen.

6.1.1. Lage der Gelenkflächen im Pferdekörper

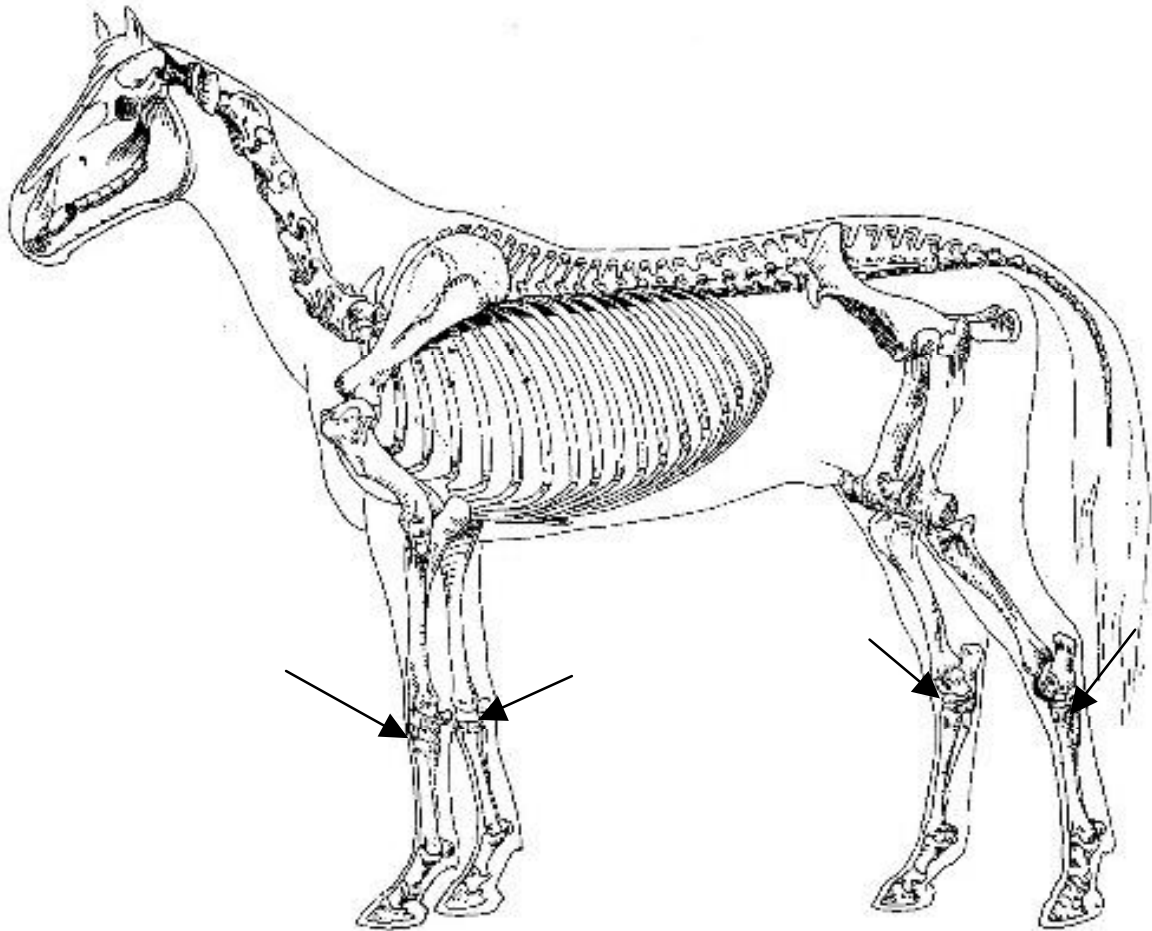


Abb. 6.1: Die *Facies articularis proximalis* der Metapodien im Körper des Pferdes (Skelett nach Ellenberger und Baum 1943, modifiziert).

Die Metacarpen liegen mit ihrer proximalen Gelenkfläche den Vorderfußwurzelgelenken an, die dem menschlichen Handwurzelgelenk entsprechen. Die proximale Gelenkfläche der Metatarsen liegt den Sprunggelenken an, die beim Menschen das Fußwurzelgelenk darstellen. Während sich das Vorderfußwurzelgelenk beim stehenden Tier in keiner Abwinkelung befindet, ist das Sprunggelenk auch ohne Bewegungssituation dauerhaft abgewinkelt. Diese Abwinkelung variiert von Tier zu Tier. Eine zu schwach abgewinkelte Hinterhand ist züchterisch unerwünscht.

6.1.2. Gelenkflächenvariationen beim Menschen (May 1985b)

Gelenkflächenvariationen sind bislang kein Thema in der Literatur. Dennoch gibt es Hinweise auf relevante Unterschiede von Gelenkflächen, die bislang keiner weitergehenden Untersuchung unterzogen worden.

Ein solcher Hinweis über Variationen beim Menschen liegt für die Grablege von Kaiser Lothar sowie Kaiserin Richenza und Heinrich dem Stolzen (Stiftskirche Königsutter, Niedersachsen) aus dem zwölften Jahrhundert vor. Diese verfügt auch über ein Kindergrab. Die Zugehörigkeit des Kindes ist bislang ungeklärt (May 1985b, 2008 [im Druck]).

Die Gelenkflächen der rechten Fersenbeine des Kindes weisen eine interessante Ähnlichkeit zu denen Heinrichs des Stolzen auf, während Kaiser Lothar und Kaiserin Richenza deutlich andere Gelenkflächenformen aufweisen (May 1985b). Die distalen Gelenkflächen der Femora weisen auf den gleichen Zusammenhang hin (Abb. 6.2).

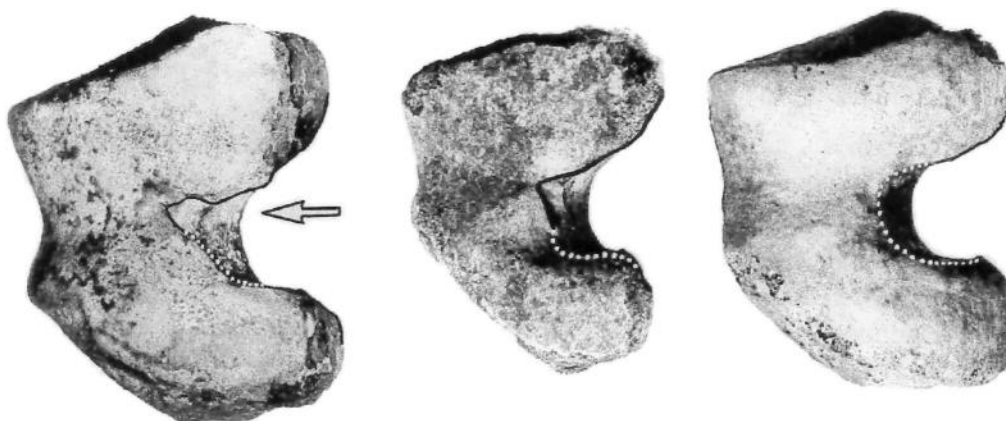


Abb. 6.2: Gelenkflächenvariationen an distalen menschlichen Femora (Abbildung nach May 1985b). Diese drei Facies articularis distalis veranschaulichen die Variabilität von Gelenkflächen. Die Form einer Gelenkfläche könnte Ausdruck eines bestimmten Bewegungstypus sein. Ähnlichkeiten könnten auch auf verwandtschaftliche Beziehungen hinweisen.

May vermutet, dass ähnliche Gelenkflächenformen Hinweise auf mögliche verwandtschaftliche Beziehungen geben könnten. Er begründet diese Überlegung mit der geringeren Variabilität von Gelenkflächen bei rezenten Haustieren innerhalb gleicher Zuchtstämme gegenüber unterschiedlichen. May hält es außerdem für möglich, dass Gelenkflächenformen mit einem speziellen Bewegungstyp im Zusammenhang stehen.

Für die Beurteilung der Gelenkflächen der vorliegenden Arbeit wären Zusammenhänge mit einem bestimmten Bewegungstyp in Erwägung zu ziehen. Variationen der Bewegung müssen zwangsläufig auch unterschiedliche Belastungen der Gelenkflächen nach sich ziehen. So könnten die Variationen der Gelenkflächen abhängig von genetischen Komponenten auf Variationen der Belastung zurückzuführen sein.

6.1.3. Versuch zur Form der Gelenkflächen (Fick 1921)

Schon im letzten Jahrhundert galt es als sicher, dass die Form von Gelenkflächen nicht allein genetisch vorbestimmt, sondern ein Ausdruck der auf die Fläche einwirkenden Kräfte ist (Fick 1921).

Eine Scapula (Schulterblatt) besitzt distal eine Gelenkpfanne, in die der Kopf des Humerus (Oberarm) hineinfasst. Ein Schaf, das armlos, aber mit Scapula geboren war (Fick 1921), zeigte anstelle der Gelenkpfanne einen gewölbten Gelenkkopf. Die Wölbung war also völlig entgegengesetzt. Sehr wahrscheinlich hatte der fehlende Druck durch den Oberarmkopf die Änderung der Gelenkfläche herbeigeführt.

Weitere Versuche bestanden aus Teil-Immobilisationen an den Gliedmaßen eines jungen Hundes und einiger Kaninchen. Nicht nur die Gelenkflächen selber, sondern sogar die Stellungen der Flächen zum Knochen konnten so verändert werden. Zum Beispiel wurde der Winkel des Femurhalses zum Schaft bei einem Hund verändert. (Abb. 6.3). Fick kam so zu dem Schluss, dass die Form und Ausprägung von Gelenken nicht allein genetisch determiniert ist. Sie hängt auch von den mechanischen Verhältnissen während der Entwicklung des Individuums bis zur vollen Ausbildung ab.

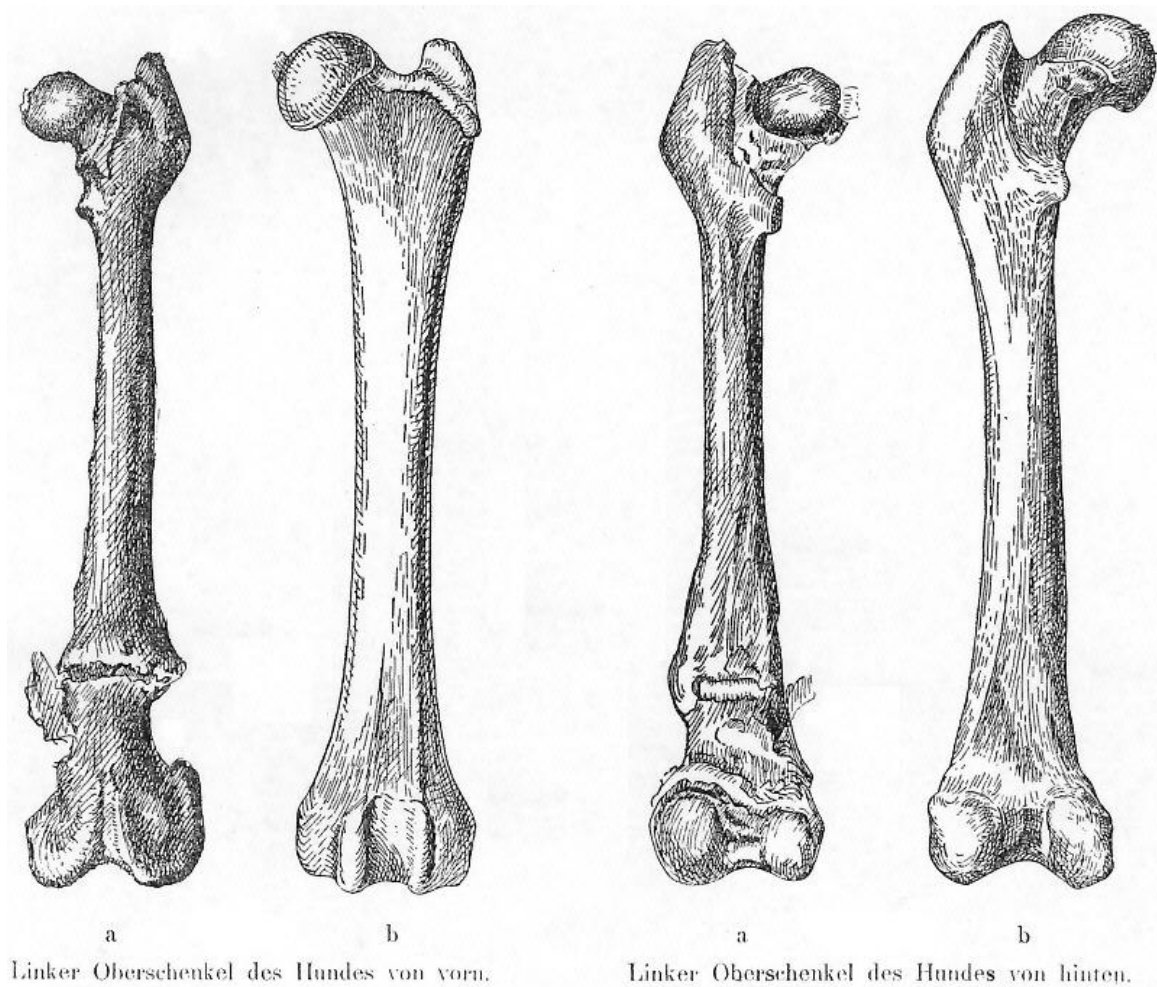


Abb. 6.3: Immobilisiertes Femur eines Hundes (Abbildung nach Fick 1921).

Bei diesem aus tierschützerischer Sicht fragwürdigen Versuch wurde einem jungen Hund eine Silberdrahtschlinge unter die Muskeln um beide Femora geschlungen. Diese Drahtschlinge erzeugte im Knochen eine tiefe Rinne (erkennbar am Femur von vorn, nahe der distalen Epiphyse). Die Hinterbeine waren so verbunden und eine gegenläufige Bewegung war nicht mehr möglich. Die Veränderungen bei dem so behandelten Hund (a) im Vergleich zu einem normal aufgewachsenen Hund (b) sind deutlich erkennbar. Der Winkel des Femurhalses sowie die Form des Femurkopfes sind vollständig verändert. Auch die distale Gelenkfläche ist komplett verändert. Der Versuch verdeutlicht, wie stark bei einem in Entwicklung befindlichen Tier die genutzte Bewegungsmechanik die Form der Knochen und somit auch der Gelenkflächen beeinflusst.

6.2. Ergebnisse

6.2.1. Flächentypen der Facies articularis proximalis des Metacarpus

Die Facies articularis proximalis kann unterschiedliche Formationen haben, das vorliegende Material macht eine Einteilung in 5 verschiedene Gelenkflächentypen sinnvoll (Tab. 6.1).



Typ 1

Gesamte Facies glatt bis auf einen Einschnitt (lateromedial verlaufend und nicht das Zentrum der Facies erreichend) vom Bereich des Os carpal quartum her in Richtung medial.



Typ 2

Einschnitt vom Bereich des Os carpal quartum her geht bis zum Zentrum der Facies und darüber hinaus, nicht jedoch bis an den medialen Rand.



Typ 3

Deutliche Unterteilung der Facies lateromedial, die Fläche ist so etwa in eine dorsale und eine palmare Hälfte unterteilt.



Typ 4
Einschnitt vom Bereich des Os carpale quartum her
geht bis zum Zentrum und verläuft dann mit einer etwa
45°-Biegung zum dorsalen Rand der Facies



Typ 5
Kombination aus 3 und 4: Linie von lateralen zum
medialen Rand sowie vom Zentrum der Facies nach
dorsal.

Tab. 6.1: Typentabelle der proximalen Facies der Metacarpen.
Einteilung in 5 Typenklassen am Beispiel linker Metacarpen.

Diese Einteilung erbrachte bei den Metacarpen des vorliegenden Materials folgendes Ergebnis:

Mc		
Pferd	li.	re.
1	5	3
2	1	n.b.
3	1	1
4	2	2
5	2	2
6	4	So.
7	1	1
8	2	2
9	2	2
11	2	2
12		2
16	2	2
17	1	1
LO	1	
KT36	1	1

*Tab. 6.2: Typenbestimmung der Facies articulares proximales der Metacarpen.
Gemäß der Typentabelle (Tab. 6.1) ergeben sich die aufgelisteten Gelenkflächenvariationen,
Pferde mit seitengleichen Gelenkflächentypen sind grau unterlegt.*

Mc: Metacarpus, li.: links, re.: rechts,

n.b. :nicht bestimmbar wegen umfangreicher Exostosen und Nekrosen,

*So.: Pferd 6 hat eine bisher einzigartige Gelenkflächenformation mit einer punktförmigen Aussparung im
Zentrum, die nicht in die Tabelle eingegliedert werden kann.*

Bei den ausgelassenen Feldern sind die entsprechenden Knochenelemente nicht vorhanden.

Bei 12 Tieren konnten die Typen an beiden Metacarpen bestimmt werden. 10 von 12 Pferden, die beide Metacarpen in die Bestimmung eingehen lassen, zeigen eine Übereinstimmung der Gelenkflächentypen auf beiden Gliedmaßen. Nur für 2 Pferde (1 und 6) kann eine deutlich unterschiedliche Typisierung auf den beiden Körperseiten nachgewiesen werden.

6.2.2. Flächentypen der Facies articularis proximalis des Metatarsus

Wie bei den Metacarpen kann auch die Facies articularis proximalis der Metatarsen unterschiedliche Formationen haben. Grundsätzlich sind 2 Typen unterscheidbar (Tab. 6.3).



Typ 1
Die Facies bildet eine zusammenhängende Fläche.



Typ 2
Die Facies besteht aus 2 voneinander getrennten Flächen. Getrennt ist der palmozentrale Anteil von dem üblicherweise breiteren Teil, der sich zusammenhängend lateral, dorsal und medial befindet.

*Tab. 6.3: Typentabelle der proximalen Facies der Metatarsen.
Einteilung in 2 Typenklassen am Beispiel linker Metatarsen.*

Die Metatarsen dieser Untersuchung erbrachten folgendes Ergebnis:

Mt		
Pferd	li.	re.
1	2	2
2	1	n.b.*
3	2	2
4	2	2
5	1	1
6	2	2
7	2	2
8	1	1
9	1	2
10		
11		1
12		n.b.
13	n.b.	
14	n.b.	n.b.
15	n.b.	n.b.
16	n.b.	n.b.
17	n.b.	n.b.
LO	1	1
KT36	1	

*Tab. 6.4: Typenbestimmung der Facies articulares proximales der Metatarsen.
Gemäß der Typentabelle (Tab. 6.3) ergeben sich die folgenden Gelenkflächenvariationen, Pferde mit
seitengleichen Gelenkflächentypen sind grau unterlegt.*

Mt: Metatarsus, li.: links, re.: rechts,

n.b.: nicht bestimmbar wegen Synostosierung mit den Tarsalia,*

n.b.: keine Typenbestimmung möglich, da bei der Schlachtung die proximale Epiphyse abgetrennt wurde.

Bei den ausgelassenen Feldern sind die entsprechenden Knochenelemente nicht vorhanden.

Bei 9 Individuen wurden die Typen an den Metatarsen beider Körperseiten bestimmt. 8 von 9 Pferden zeigen eine Übereinstimmung beider Seiten. Nur bei einem Pferd (9) ist der Gelenkflächentyp unterschiedlich.

6.2.3. Flächentypen der Metapodien in Abhängigkeit von der Länge

Gelenkflächen unterliegen Belastungen, die unter anderem auch durch Hebelwirkungen zu erklären sind. Hebelwirkungen werden durch die Länge der Hebelarme verstärkt. Sie könnten sich auch letztlich auf die Form der Gelenkflächen auswirken. Deshalb ist es von Interesse, ob die Länge der Metapodien Auswirkungen auf die vorkommenden Gelenkflächentypen hat.

Die Länge der Metapodien steht in enger Verbindung mit der Widerristhöhe der Tiere, wobei jedoch nur Berechnungen der Widerristhöhe durch Multiplikation der Länge der Metapodien mit Faktoren möglich sind (May 1985a). Dabei betragen die 95%-Vertrauensbereiche ca. ± 8 cm.

Zur Untersuchung einer möglichen Größenabhängigkeit der Flächentypen sind die Individuen mit ihren dazugehörigen Gelenkflächentypen nach zunehmender größter Länge der Metapodien aufgelistet (Werte aus Tab. 6.2, Tab. 11.4 und Tab. 6.4, Tab. 11.5).

Mc	GL	Typ	
Pferd		li.	re.
KT36	21,0	1	1
LO	23,9	1	
5	26,0	2	2
17	26,1	1	1
7	26,4	1	1
8	26,4	2	2
2	26,5	1	n.b.
3	27,0	1	1
1	27,2	5	3
16	27,5	2	2
9	27,5	2	2
12	27,8		2
4	28,0	2	2
11	29,0	2	2
6	29,5	4	So.

Tab. 6.5: Gelenkflächentypen und größte Länge des Metacarpus.

Die Individuen sind gemäß der zunehmenden größten Länge des Metacarpus mit ihren Gelenkflächentypen aufgelistet. Da die größten Längen beider Metacarpen eines Individuums kaum variieren, wurde für diese Auflistung die gemittelte Länge der beiden Werten verwendet.

Mc: Metacarpus, li: links, re: rechts,

GL: Gemittelte (sofern nötig) größte Länge (v.d. Driesch 1976) beider Metacarpen in cm, Typ: siehe Tab. 6.1, n.b.: nicht bestimmbar wegen umfangreicher Exostosen und Nekrosen,

So.: Sonderform bei Pferd 6 (siehe Text zu Tab. 6.1).

Bei den ausgelassenen Feldern sind die entsprechenden Knochenelemente nicht vorhanden.

Die größten Längen der Metacarpen (Tab. 6.5) erstrecken sich in 27 bestimmaren Fällen von 21,0 bis 29,5 cm. Wir haben bis zu einer größten Länge von 27 cm, was auf 14 Metacarpen zutrifft, den Gelenkflächentyp 1 und 2, wobei Typ 1 mit 10 Fällen überwiegt. Die Typen 3, 4 und 5 kommen in diesem Größenbereich nicht vor.

13 Metacarpen mit einer größten Länge über 27 cm verfügen in 9 Fällen über Typ 2. Jeweils einmal kommen die Typen 3, 4, 5 und die Sonderform bei Pferd 6 vor. Der Flächentyp 1 ist hier nicht mehr anzutreffen.

Mt Pferd	GL	Typ	
		li.	re.
KT36	25,1	1	
LO	28,2	1	1
5	30,4	1	1
8	30,5	1	1
2	30,6	1	n.b.
7	31,1	2	2
3	31,5	2	2
1	32,2	2	2
9	32,2	1	2
11	33,2		1
4	33,4	2	2
6	33,9	2	2

Tab. 6.6: Gelenkflächentypen und größte Länge des Metatarsus.

Die Individuen sind gemäß der zunehmenden größten Länge des Metatarsus mit ihren Gelenkflächentypen aufgelistet. Da die größten Längen beider Metatarsen eines Individuums kaum variieren, wurde für diese Auflistung die gemittelte Länge beider Werte verwendet.

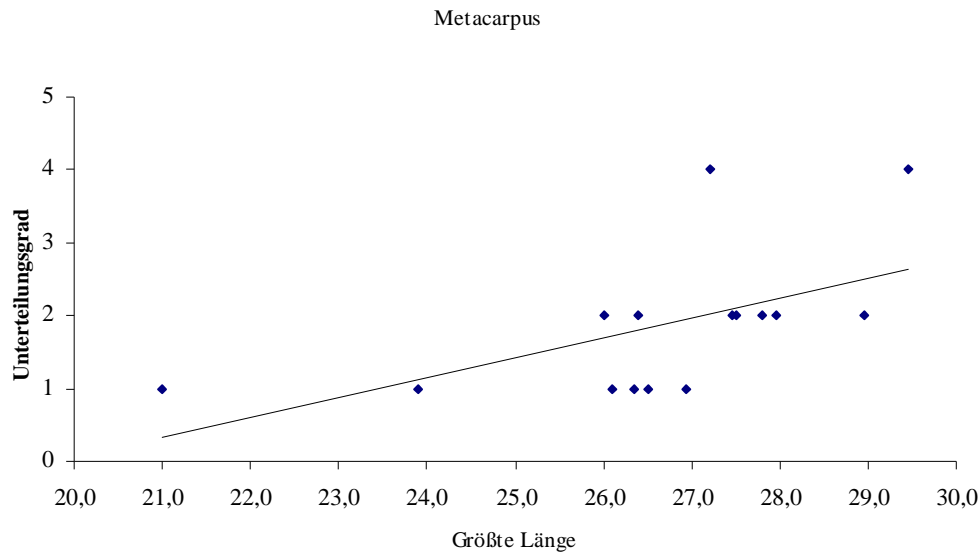
Mt: Metacarpus, li: links, re: rechts,

GL: Gemittelte (sofern nötig) größte Länge (v.d. Driesch 1976) beider Metatarsen in cm, Typ: siehe Tab. 6.3, n.b.: nicht bestimmbar wegen Synostosierung mit den Tarsalia,

Bei den ausgelassenen Feldern sind die entsprechenden Knochenelemente nicht vorhanden.

Die größte Länge der Metatarsen erstreckt sich bei 21 bestimmbaren Metatarsen von 25,1 bis 33,9cm. Unterhalb einer größten Länge von 31cm kommt bei diesem Material nur der Gelenkflächentyp 1 vor, also in allen 8 Fällen. Bei den verbleibenden 13 Metatarsen mit einer größten Länge von über 31cm kommt der Gelenkflächentyp 1 nur in 2 Fällen, entsprechend der Typ 2 in 11 Fällen vor.

Um die Größenverhältnisse besser zu veranschaulichen, werden die Ergebnisse in Diagrammen dargestellt. Die Werte für den Grad der Flächenunterteilung werden aus den Typenzahlen der Tabellen, sofern für beide Körperseiten vorhanden, gemittelt. Bei Tieren, die nur den Knochen einer Körperseite einbringen können, erfolgt entsprechend keine Mittlung.



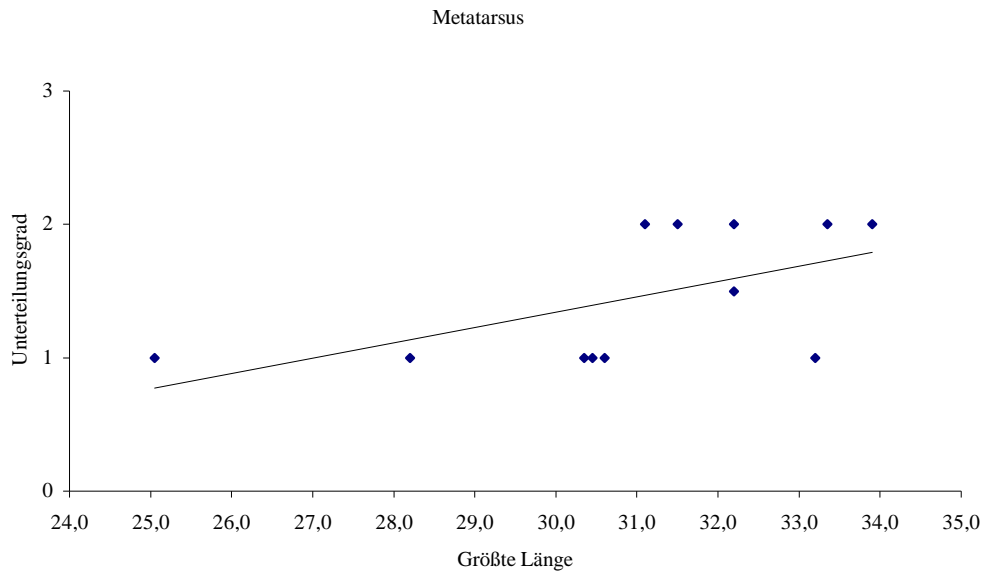
Dia. 6.1: Gelenkflächentypen der Metacarpen in Abhängigkeit von der größten Länge.

Abszisse: Größte Länge (nach v.d. Driesch 1976, siehe Abb. 11.1),

Ordinate: Unterteilungsgrad, Wert gemittelt aus den Werten der Tabelle (Tab. 6.5), sofern zwei Werte vorhanden sind. Der Wert 1 entspricht keiner Unterteilung der Gelenkfläche, höhere Werte kennzeichnen Unterteilungen.

Die Trendlinie spiegelt lediglich die Verhältnisse dieser Stichprobe wider – statistische Relevanz wird daraus nicht abgeleitet.

Bei dem hier vorliegenden Material kommt eine nicht unterteilte Facies articularis proximalis der Metacarpen bis zu einer Länge von 27 cm vor, über 27 cm nicht mehr. Nach May (1985a) entspricht diese Länge einer Widerristhöhe von $27\text{cm} \cdot 6,102 = 164\text{cm}$. Die ersten unterteilten Gelenkflächen sind ab einer Länge von 26cm zu finden. das entspricht einer Widerristhöhe von $26\text{cm} \cdot 6,102 = 159\text{cm}$.



Dia. 6.2: Gelenkflächentypen der Metatarsen in Abhängigkeit von der größten Länge.

Abszisse: Größte Länge (nach v.d. Driesch 1976, siehe Abb. 11.1).

Ordinate: Unterteilungsgrad, Wert gemittelt aus den Werten der Tabelle (Tab. 6.6), sofern zwei Werte vorhanden sind. Der Wert 1 entspricht keiner Unterteilung der Gelenkfläche, höhere Werte kennzeichnen Unterteilungen.

Die Trendlinie spiegelt lediglich die Verhältnisse dieser Stichprobe wider – statistische Relevanz wird daraus nicht abgeleitet.

Bei den Metatarsen kommt eine nicht unterteilte Facies articularis proximalis bis zu einer Länge von 31cm ausschließlich vor, oberhalb dieser Länge nur noch zwei Mal (der Wert 1,5 ist ein Resultat aus den unterschiedlichen Typen bei Individuum Nr. 9, Tab. 6.4). Nach May (1985a) entspricht diese Länge einer Widerristhöhe von $31\text{cm} \cdot 5,331 = 165\text{cm}$. Die unterteilten Gelenkflächen sind entsprechend ab einer Länge von 31cm zu finden.

6.3. Diskussion

6.3.1. Die Gelenkflächen sind ein Abbild der Bedingungen des Pferdegebäudes

Sowohl bei den Metacarpen als auch bei den Metatarsen scheint eine fast obligatorische Übereinstimmung der Gelenkflächentypen beider Körperseiten vorzuliegen. Damit könnten die Gelenkflächentypen von den Bedingungen abhängen, die aus dem Pferdegebäude hervorgehen und seitengleich vorliegen (siehe auch Kap. 4.3.10. , S. 102 ff.).

Bedingungen, die die Flächentypen beeinflussen könnten, sind die Größe des Tieres, Gangvermögen und damit zusammenhängende Gebäudeverhältnisse, wie die Schrägheit der Schulter und die Abwinkelung der Hinterhand (siehe Kap. 4.1.6. , S. 44 ff.). Diese Faktoren kommen nie einseitig vor. Kein Pferd hat auf der einen Seite wesentlich kürzere Gliedmaßen als auf der anderen oder besitzt unterschiedlich stark abgewinkelte Hintergliedmaßen. Somit ist es möglich, dass dies auch tatsächlich die beeinflussenden Faktoren seien.

Größe und Abwinkelungen, mit eingeschlossen diejenigen Abwinkelungen, die auch während der Bewegung des Tieres erzeugt werden, führen zu bestimmten Lastverteilungen auf den Gelenkflächen, die offensichtlich ausschlaggebend für die Herausprägung der Gelenkflächen sind.

Besonders die Ergebnisse von Fick (1921), der durch experimentelle Einschränkung des Bewegungsspielraumes Gelenkflächen in ihrer Gestalt völlig verändern konnte, unterstützen diese Auffassung.

6.3.2. Größe und Abwinkelung bewirken Teilungen von Gelenkflächen

Das Carpalgelenk hat im Gegensatz zum Tarsalgelenk in Ruhestellung keine ständige Abwinkelung. In der Bewegung ist es nur in der Hangbeinphase (die Phase, in der das Bein angewinkelt nach vorne geführt wird und nicht auf dem Boden aufsetzt) gebeugt. In der Stützbeinphase (in dieser Phase setzt das Bein auf und wird in die caudale Richtung bewegt) ist es jedoch durchgehend gestreckt. Nur in dieser Phase nimmt es die Last des Körpers auf. Die Last wird nur dann gleichmäßig auf die proximale Gelenkfläche des Metacarpus übertragen, wenn das Bein gerade ungefähr unter der Scapula steht.

Bei derjenigen Gliedmaße, die sich gerade mehr cranial und am Beginn der Stützbeinphase befindet, ist die Last mehr auf den dorsalen Teil der proximalen Gelenkfläche des Metacarpus verlagert. Diese Lastverlagerung wird in schnelleren Bewegungen besonders zu Beginn der Stützbeinphase noch verstärkt, da in diesem Moment der Schub des sich in Bewegung befindlichen Körpers noch abgefangen werden muss. Im Verlauf der Stützbeinphase wandert die Last mit dem Zurückführen der Gliedmaße im Gelenk nach caudal. Vom Boden fressend (z.B. auf der Weide) stehen die Vordergliedmaßen nicht in einer Linie, sondern es befindet sich ein Bein vor dem Pferdekörper und das andere unter dem Körper in mehr caudale Richtung. In einem Fall ist die Last dorsal (Bein vor), in dem anderen palmar (Bein zurück) auf dem Gelenk verlagert.

Bei kleineren Individuen ist der Unterschied bei beiden Lastverlagerungen nicht so groß, da die Hebelwirkung gering ist. So ist es wohl kein Zufall, dass bei den von mir in den vergangenen Jahren untersuchten kleinen Ausgrabungspferden aus Rullstorf (Becker 2007) in keinem Fall eine Teilung der proximalen Gelenkfläche des Metacarpus zu beobachten ist. Diese Pferde verfügten lediglich über eine Widerristhöhe von 1,32m bis 1,48m.

6.3.3. Zusammenhang mit „modernen“ Gelenkproblemen

Viel stärker dürfte sich die Lastverlagerung bei einigen Tieren der Schlachtknochen aus der vorliegenden Arbeit ausgewirkt haben. Die Diagramme (Dia. 6.1, Dia. 6.2) zur Größenabhängigkeit der Gelenkflächentypen belegen, dass unterteilte Gelenkflächen mit zunehmender Größe wahrscheinlicher sind. So sind auch viel größere Hebelwirkungen in den eben beschriebenen Stellungen zu erwarten.

Durch die verstärkte Zucht auf eine schrägere Schulter sind die Lastverlagerungen zwischen Beginn und Ende der Stützbeinphase noch extremer, weil noch der bereits beschriebene Raumgriff (Kap. 4.1.6. , S. 44 ff.) hinzukommt.

Für die Hintergliedmaßen dürfte die angeborene, natürliche Abwinkelung ausschlaggebend sein (Kap. 4.1.6. , S. 44 ff., Kap. 2.12. , S. 25 ff.). Der in dieser Untersuchung angegebene unterteilte Flächentyp 2 der Metatarsen kommt auch schon bei kleineren Pferden aus Ausgrabungen vor, was aus der Tabelle (Tab. 6.4) bei nur zwei solcher Individuen nicht hervorgeht. Mit großer Wahrscheinlichkeit hat eine durch Zucht oft forcierte starke Abwinkelung im Sprunggelenk mit der damit einhergehenden stärkeren Belastung dorsal (Kap. 2.12. , S. 25 ff.) eine noch häufigere Ausprägung der 2-teiligen Gelenkfläche zur Folge. Es erscheint auf der anderen Seite somit auch schlüssig, dass ein eher gerade gestelltes Sprunggelenk das Gewicht gleichmäßiger auf den Metatarsus überträgt. Es würde sich dann eine einteilige Gelenkfläche herausprägen.

Demnach bewirken zunehmende Größe und Raumgriff in der Bewegung eine extremere Lastverteilung. Die Folge ist dann eine Teilung der Gelenkflächen. Da Osteochondrosen und frühe Arthrosen wesentlich auf Belastungen zurückzuführen sind, ist ein Zusammenhang von züchterischen Strategien mit diesen Problemen möglich.

7. Strukturen auf den Gelenkflächen

7.1. Grundlagen

7.1.1. Eine zufällig erzeugte Sicht auf die Gelenkflächen

Die Erzeugung der nun folgenden Ansichten von Gelenkflächen war nicht beabsichtigt und das Material wurde dafür nicht eigens präpariert. Für das Anliegen dieser Arbeit war es unwichtig, wie die Knochen von allen fleischigen und knorpeligen Bestandteilen befreit wurden. Deswegen lag auch kein einheitliches Mazerationsschema vor.

Aus organisatorischen Gründen waren die Knochen der Tiere 1 bis 11 nach dem Mazerieren, halbstündigem Kochen und einem zweiwöchigen Entfettungsbad (siehe auch Kap. 3.2. , S. 30 ff.) für ca. 5 Monate (11/2004 bis 4/2005) der Witterung ausgesetzt, während die Knochen der Individuen 12 bis 17 nach dem Entfettungsbad lediglich noch einmal eine $\frac{3}{4}$ Stunde in Salzwasser gekocht wurden. Dieses unterschiedliche Vorgehen hatte dann Auswirkungen auf Ergebnisse, die nicht erwartet worden waren.

Beim Arbeiten an den Knochen waren unvorhergesehen Musterungen auf wenigen Facies zu erkennen, die wohl zunächst stellenweise durch Staub und Schmutz bei der Lagerung der Knochen im Freien zum Vorschein kamen. Nach dem Abreiben der Gelenkflächen mit schwarz gefärbtem Lederfett wurden in allen Fällen Strukturen sichtbar, die an getrockneten Lehm Boden erinnern. Diese Strukturen, die sich in Form von Linien abzeichneten, sind bei den Knochen, die nicht der Witterung ausgesetzt waren, weit weniger intensiv und zeichnen sich eher nur stellenweise ab.

Um eine Vorstellung für die Bereiche, in denen die Strukturen liegen könnten, zu vermitteln, seien auch hier Grundlagen dazu zusammengestellt.

7.1.2. Die Zonen des reinen Gelenkknorpels

Die Dicke der Gelenkknorpel variiert beim Menschen von 0,2 mm bis 6,4 mm (Mohr 2000). Im Bereich hoher Belastungen ist der Knorpel dünner und härter.

Im Knorpel liegen die Chondrozyten (Knorpelzellen), eingebettet in die von ihnen erzeugte Extrazellulärmatrix. Diese Matrix besteht hauptsächlich aus Kollagenfibrillen, woran reichlich Wasser angelagert ist (anteilig 80%). Das Wasser tritt bei Belastung aus und füllt sich bei Entlastung wieder auf. Die Durchmesser der Kollagenfibrillen nehmen von der Oberfläche zur Tiefe des Gelenkknorpels hin zu (von 10nm bis 140nm).

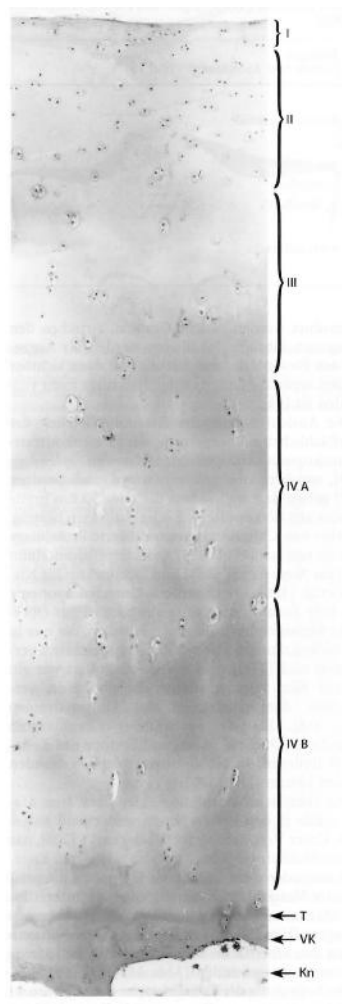
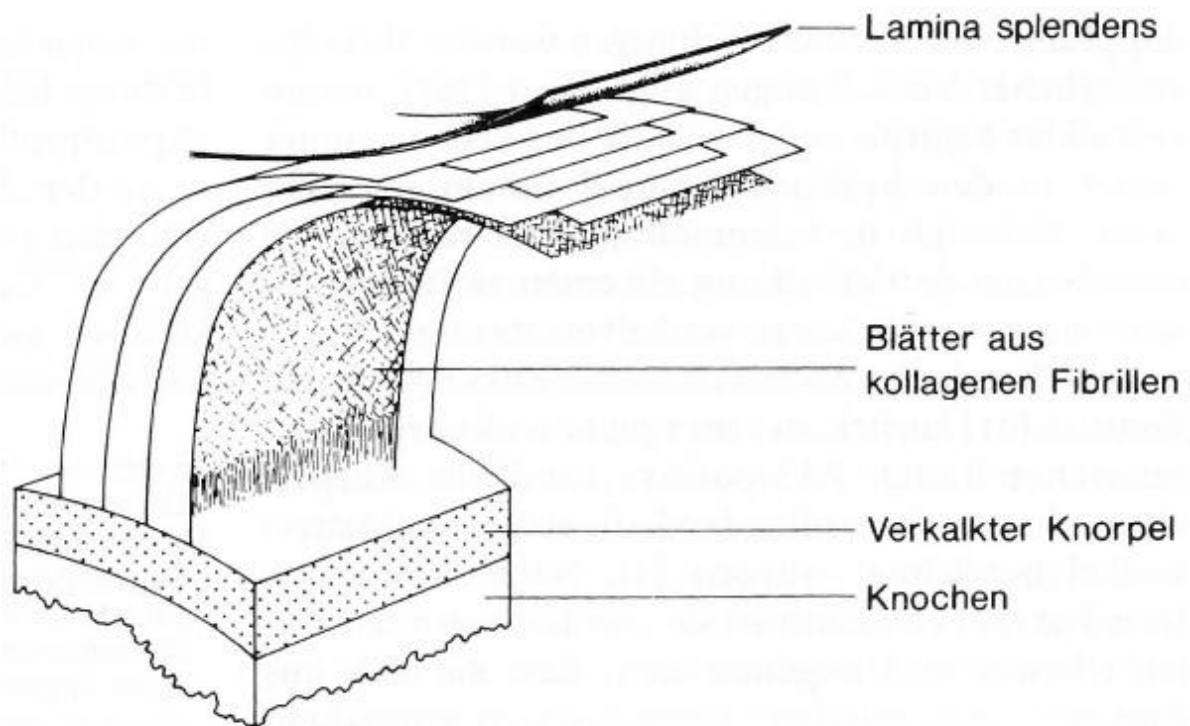


Abb. 7.1: Zonale Gliederung eines Gelenkknorpels (Abbildung nach Mohr 2000).

Im Bild oben befindet sich die unverkalkte Oberfläche, also der Teil, der mit dem gegenüberliegenden Knorpel des anderen Knochens kooperiert. Sie wird als Lamina splendens (I) bezeichnet. Die Zonen II bis IVB stellen verschiedene Knorpelzonen dar, die ebenfalls unverkalkt sind. Die Grenze zu den verkalkten Zonen wird Tidemark (T) genannt. Daran schließt sich die Zone des verkalkten Knorpels (VK) an. Schließlich ist im Bild unten der subchondrale (unter dem Knorpel liegende) Knochen (Kn) zu sehen, der am mazerierten Knochen auffällig glatt ist. Bei den dunklen Einschlüssen handelt es sich um Chondrozytenzellkerne.

Bei den oberen Knorpelschichten gelten tangential und parallel zueinander verlaufende Kollagenfibrillen als sicher, die in dieser Anordnung für den Widerstand gegenüber den Scherkräften verantwortlich sind (Lane, Weiss 1975, Weiss 1978). In den tieferen Zonen wird eine regellose, netzwerkartige Anordnung der kollagenen Fibrillen vermutet (Broom 1988). Die Zone IVB soll senkrecht stehende Fibrillen aufweisen.



*Abb. 7.2: Kollagenarchitektur des Gelenkknorpels (nach Jeffrey et al. 1991).
Für den groben Aufbau des Gelenkknorpels gibt es ein Strukturmodell, das allerdings nicht als gesichert angesehen werden kann. Die Blätter bestehen aus einem Netzwerk kollagener Fibrillen, ähnlich einer Press-Spanplatte.*

7.1.3. Die verkalkten Zonen

Die Zone des verkalkten Knorpels schließt sich an, dessen Breite mit der Breite der darüber liegenden Knorpelschichten positiv korreliert ist (Müller-Gerbl et al. 1987a, 1987b). Sich wiederholende Druckbelastungen führen zu einer Zunahme der Verkalkung (Klein-Nulend et al. 1986).

Der eigentliche Knochen beginnt jedoch erst darunter mit dem Auftreten der glatten, lamellären Knochenschicht, die die Basis für den Gelenkknorpel ist (Müller-Gerbl 1991). Diese „subchondrale Deckplatte“ verfügt im Allgemeinen nicht mehr über kollagene Fibrillen (Clark, Huber 1990, Palfrey 1973).

Zunahmen an Belastung führen zu einer stärkeren Mineralisierung, wie dieses auch beim verkalkten Knorpel der Fall ist. Unter Belastung nehmen ebenfalls die Gefäßdichte, die Härte und Steifigkeit zu (Müller-Gerbl 1998).

Auch bei Überbelastung und damit einhergehender Knorpelzerstörung kommt es zunächst einer Zunahme der Härte des subchondralen Knochens (Radin et al. 1973). Auch die Dicke der subchondralen Deckplatte nimmt vor dem Entstehen erster arthrotischer Veränderungen zu (De Bri et al. 1995).

7.2. Ergebnisse

7.2.1. Foto-Dokumentation

Alle bei der Erstellung dieser Arbeit durch Anfärben präparierten Gelenkflächen durch Abbildungen darzustellen, würde den Rahmen sprengen. So werden an dieser Stelle einige ausgewählte Beispiele gezeigt. In der Regel sind Knochen gezeigt, die der Witterung ausgesetzt waren. Bei Aufnahmen, die Knochen zeigen, die nicht der Witterung ausgesetzt waren, ist dieses im Untertitel vermerkt.



Abb. 7.3: Facies articularis proximalis des linken Metacarpus von Pferd 3 (♂, 3-jährig), Proximalaufsicht, oben dorsal. Die kräftigen Rinnen im Zentrum der Gelenkfläche (→), die in den osteochondralen Befundkomplex einzuordnen sind, waren auch schon ohne besondere Bearbeitung der Fissuren sichtbar. Das Hervorheben der Strukturen zeigt, wie sich die Abweichungen in die übrigen, durch Färbung hervorgehobenen Fissuren, einfügen.

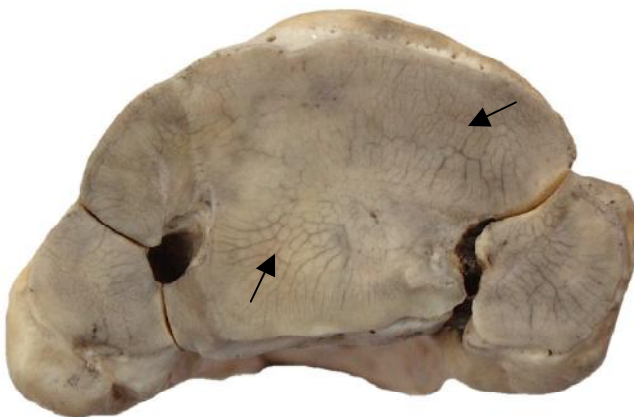


Abb. 7.4: Facies articularis proximalis des linken Metacarpus von Pferd 7 (♀, 13-jährig), Proximalaufsicht, oben dorsal. Hier sind die Belastungsstrukturen am McIII dorsomedial und palmolateral ausgeprägter (→). McII weist gegenüber McIV stärkere Strukturen auf. McII ist, was auf der Abbildung nicht sichtbar ist, in seinem Synostosierungsprozess wesentlich weiter vorangeschritten.

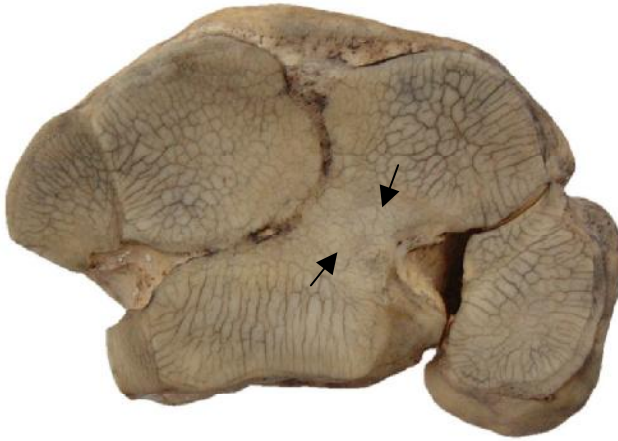


Abb. 7.5: *Facies articularis proximalis* des linken Metacarpus des Pferdes 6 (♀, 15-jährig), Proximalaufsicht, oben dorsal. Hier wird im rechten „Areal“ im eingeeengten mittleren Abschnitt (→) eine absolut strukturarme Zone sichtbar, während sich dorsolateral und medial sowie palmar Strukturen abzeichnen.

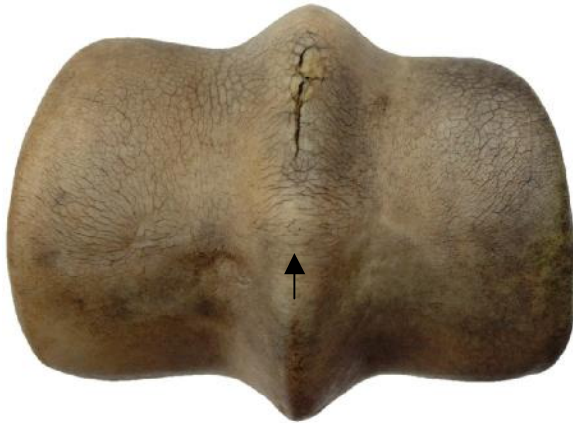


Abb. 7.6: *Facies articularis distalis* des linken Metacarpus von Pferd 1 (♂, 3-jährig), Distalaufsicht, oben dorsal. Der osteochondrale Defekt, der auf der linken Abbildung auch schon zu erkennen ist, passt in das Strukturbild, das nach Hervorhebung entsteht. Palmar des Defektes zeichnen sich Parallelen auf dem Sagittalkamm ab (→). Palmar der Abdrücke der Sesambeine (siehe auch Kap. 9., S. 194 ff.) sind Strukturen nur noch reduziert sichtbar zu machen.

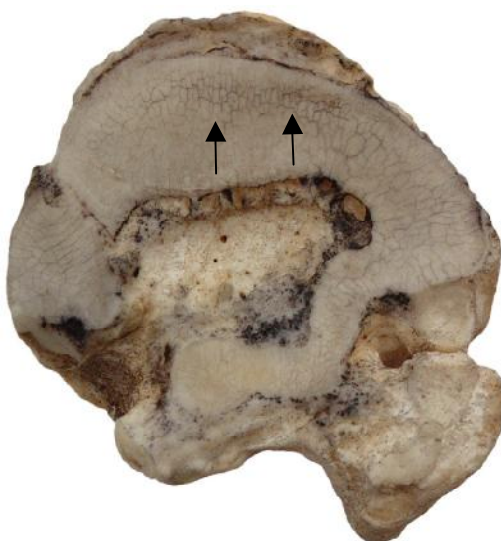


Abb. 7.7: *Facies articularis proximalis* des linken Metatarsus von Pferd 2 (♀, 14-jährig), Proximalaufsicht, oben dorsal. Dorsal, in der Nähe der scharfkantigen Randexostose, finden sich ausgeprägtere Strukturen (→). Der bei diesem Tier im Flächenausmaß sehr reduzierte palmar Teil der Gelenkfläche hat nur minimale Belastungsstrukturen.



Abb. 7.8: Facies articularis proximalis des rechten Metatarsus von Pferd 14 (Alter und Geschlecht unbekannt), Proximalaufsicht, oben dorsal.

Dieser nicht vormals der Witterung ausgesetzte Knochen zeigt Fissuren beiderseits des Sagittalkammes sowie entlang der Abdrücke (Kap. 9., S. 194 ff.).



Abb. 7.9: Facies articularis caudalis rechts von C5 des Pferdes 7 (♀, 13-jährig), Lateralansicht, oben dorsal.

Im medialen und zentralen Bereich sind die Strukturen weniger stark und ungeordnet. Lateral hingegen sind sie deutlicher und eher parallel. Obwohl aus dieser Ansicht der Eindruck entstehen könnte, dass ein ausgeprägtes Lipping lateral vorhanden sei, ist dem nicht so. Die Gelenkfläche ist bis auf den leichten Substanzverlust caudal (→) völlig intakt.



Abb. 7.10: Facies terminalis cranialis von C5 des Pferdes 7 (♀, 13-jährig), ventrolaterale Ansicht von rechts.

Die Facies terminales sind keine Bestandteile echter Gelenke (Diarthrose), sondern sie gehören zu den Synarthrosen (unechten Gelenken). In diesem Fall wird die Synarthrose durch die Bandscheibe (Discus intervertebralis) gebildet. Sie hat neben der stoßdämpfenden eine stabilisierende Funktion. Die völlig andere Funktion bedingt anscheinend das Fehlen der „Belastungsstrukturen“, wie sie bei den anderen Gelenken zu erkennen sind.

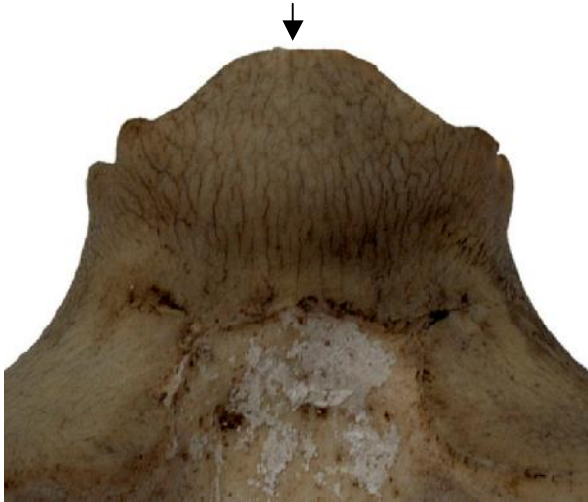


Abb. 7.11: Facies terminalis cranialis des C2 von Pferd 7 ♀ (, 13-jährig), Ventralansicht.

Der zweite Halswirbel (Axis) ist terminal mit dem ersten Halswirbel (Atlas) durch ein echtes Gelenk verbunden. So sind auch die Strukturen sichtbar, die in diesem Fall cranial ungeordnete (→) und in caudale Richtung Parallelstrukturen aufweisen.



Abb. 7.12: Facies articularis caudalis von C2 des Pferdes 7 (♀, 13-jährig), Ventralansicht.

Hier sind auf beiden Facies parallele Strukturen sichtbar. Die tieferen Rinnen der linken Facies passen in die übrigen, erst durch Färbung sichtbar gemachten Strukturen.

Die folgenden Fotos zeigen die Facies articularis proximalis der Phalangen I einiger ausgewählter Tiere. Die vier Phalangen stehen, soweit vorhanden, so, wie sie am lebenden Tier zu finden sind, d.h. vorne links/rechts ist oben links/rechts, hinten links/rechts ist unten links/rechts. Nur die Pferde 12 und 13, bei denen nicht alle Phalangen vorhanden waren, sind auf einem Foto zusammengefasst. In diesem Fall ist die Gliedmaßenposition im Untertitel angegeben.

Die Fotos sind nicht maßstabskonform!



Abb. 7.13: Pferd 1 (♂, 3-jährig).

Das Tier hat Rissdefekte in der Sagittalrinne an allen Gliedmaßen, vorne rechts weniger auf einen Punkt konzentriert. In der Nähe der Defekte sind die Strukturen intensiver. Vorne rechts sind sie etwas weniger stark ausgeprägt.



Abb. 7.14: Pferd 5 (♂, 5-jährig).

Vorne fallen die intensiven Strukturen in der Sagittalrinne auf. Bei den hinteren Phalangen sind die auch unangefärbt schon sichtbaren Risse jeweils lateral der Sagittalrinne in die feineren Risse eingegliedert.



*Abb. 7.15: Pferd 9 (♂, 3-jährig).
Dieses Pferd stand an allen 4 Gliedmaßen im Fesselgelenk mit zu engem vertikalen Winkel medial. Die medialen Anteile der Facies zeigen deutlichere Strukturen und sogar kleinere Risse.*



*Abb. 7.16: Pferd 12, oben (Ph vorne rechts, Alter und Geschlecht unbekannt), Pferd 13, unten (Ph hinten links, Alter und Geschlecht unbekannt).
Diese Knochen waren nicht der Witterung ausgesetzt worden. Pferd 12 zeigt an seiner vorderen Phalanx in der Sagittalrinne im dorsalen und auf dem palmaren medialen Bereich der Facies kleinere Strukturen. Sie verlaufen von palmozentral nach dorsal. Bei Pferd 13 sind neben dem Defekt in der Sagittalrinne noch weitere kleine Linien zu sehen.*



Abb. 7.17: Pferd KT36 (♂, 5-6-jährig). Die Phalanx dieses Pferdes aus einer Ausgrabung ist mehr als 1000 Jahre alt. Dennoch sind hier kleinere lineare Strukturen in der Sagittalrinne zu sehen.

7.2.2. Die Auffälligkeiten

Die so erzielten Darstellungen der Gelenkflächen weichen bei den unterschiedlich behandelten Knochen voneinander ab:

Die Knochen der Pferde 1 bis 11, die über einige Monate der Witterung ausgesetzt waren, zeigen über die gesamten Gelenkflächen Strukturen, die durch feine Fissuren entstanden sind. Alle Metapodien und Phalanges I von den Pferden 1 bis 11 sowie 8 Halswirbelsäulen wurden in dieser Form präpariert.

An den Rändern aller Gelenkflächen nimmt die Intensität der Strukturen ab, die Linien verlaufen hier eher parallel im 90°-Winkel zum Rand.

Bestehende Risse und auch Abdrücke der Sesambeine (Abb. 9.1) laufen gewissermaßen in die durch Färbung sichtbar gemachten Fissuren aus.

Die Strukturen besonderer Intensität sind häufig an Stellen zu finden, an denen Schäden der Gelenkflächen vorkommen.

Die Strukturen auf den medialen und lateralen Facies der Phalangen deuten eine einheitliche Verlaufstendenz an. So scheint eine strahlförmige Verlaufstendenz von palmozentral (Palmarrand der Sagittalrinne) nach mediodorsal auf dem medialen Teil und nach laterodorsal auf dem lateralen Teil der Facies vorhanden zu sein. Die Strukturen in der Sagittalrinne scheinen eher parallel zu ihr zu verlaufen.

Die Knochen der Tiere 12 bis 17 lieferten 14 Metapodien und Phalangen, die der Witterung aus organisatorischen Gründen nicht ausgesetzt waren. Bei nochmaligem Einlegen in ein Entfettungsbad nach der Präparation zum Test fühlte sich die Gelenkfläche noch knorpelig und glatt an. Diese Knochen haben zum Teil auch Strukturen, die sich jedoch nicht über die ganzen Gelenkflächen erstrecken und sich an exakt bestimmbar Zonen konzentrieren.

Alle Phalangen dieser Tiere haben Längsstrukturen in der Sagittalrinne.

Falls die Linien auf den medialen und lateralen Facies der Phalangen vorkommen, so bestätigen sich hier die Tendenzen, die bei den Knochen, die der Witterung ausgesetzt waren, nicht so explizit auszumachen waren. Sie verlaufen hier ebenfalls und sehr deutlich strahlförmig von palmozentral nach mediodorsal auf dem medialen Teil und von palmozentral nach laterodorsal auf dem lateralen Teil der Facies.

An den Facies articularis distalis der Metapodien verlaufen die Linien längs neben dem Sagittalkamm.

Bei den Knochen der Tiere aus Ausgrabungen sind nur an den Phalangen I anterior von Pferd KT36 in der Sagittalrinne leichte Spuren zu entdecken (Abb. 7.17).

7.3. Diskussion

Die Möglichkeit reiner Präparationsartefakte ist offenbar auszuschließen, da sich die Strukturen in der Form und Intensität innerhalb einer Gelenkfläche ändern. So könnten die Strukturen zwar durch die Präparation erst hervorgehoben worden sein. Die Unterschiedlichkeit an verschiedenen Teilen der Gelenkflächen zeigt jedoch Abhängigkeiten, die durch Präparationsmaßnahmen, die ja schließlich am gesamten Knochen gleich ablaufen, nicht zu erklären sind.

Die Intensität der Strukturen ist nicht gekoppelt an die in Kap. 4.1.8. (S. 52 ff.) aufgeführten Druckmaxima (Schäfer 2001). Dennoch liegen Defekte passgenau in den Strukturen. Es entsteht der Eindruck, als haben sich die Defekte in vorgeprägte Stellen eingefügt, ähnlich wie Papier an perforierten Linien besser einreißt.

Da im Zuge dieser Arbeit genauere Untersuchungsmöglichkeiten fehlen, kann über die genaue Entstehung nur spekuliert werden.

Diejenigen Knochen, die der Witterung ausgesetzt waren, sind wahrscheinlich auch von der Zone des verkalkten Knorpels befreit. Die Bilder dürften uns demnach nur den reinen Knochen (also die unterste Schicht in Abb. 7.1) der subchondralen Deckplatte zeigen. Diese Deckplatte ist kompakt.

Die entdeckten Strukturen dürften sich in der unteren, nicht durch die Mazeration beseitigten Knorpelschicht oder aber im subchondralen Knochen befinden. Die Feinstruktur dieses Knochens entspricht der lamellären Struktur eines kompakten Knochens. Möglicherweise werden die Lamellen unter sich wiederholender Belastung zu Lamellengruppen zusammengeschoben. An den so entstandenen winzigen „Gräben“ könnte dann die Witterung angegriffen haben. Regen und Frost haben hier wohl die letzten knorpeligen Anteile des verkalkten Knorpels beseitigt und konnten diese „Gräben“ dann durch weitere Entfettung besonders hervorheben. Die Tatsache, dass die Defekte sich in die physiologischen Strukturen einfügen, ist zumindest ein Beleg für das obligatorische Vorhandensein dieser Strukturen, die dann nur noch sichtbar gemacht wurden.

An den Rändern sind die Linien durchweg feiner und verlaufen in einem 90°-Winkel. Man könnte vermuten, dass die lamellären Strukturen, ähnlich wie bei einem gewebten Stoff, an den Rändern fest verbunden seien und so die möglicherweise funktionell begründete Entstehung sehr tiefer Furchen, wie sie mehr in der Knochenmitte zu finden sind, nicht existiere. Vielleicht wäre das über die Dichteverteilung der Lamellen belegbar.

Die Knochen, die nicht der Witterung ausgesetzt waren, verfügen offenbar noch über knorpelige Anteile auf den Gelenkflächen, wie der Test des nochmaligen Einlegens in ein Bad auch zu bestätigen scheint. Ziemlich sicher verfügen die Gelenkflächen zumindest noch über die Zone des verkalkten Knorpels.

Auch bei ihnen kommen Strukturen, wie sie auf den Phalangen der anderen Knochen zu sehen sind, vor. Sie sind jedoch nur geringfügig zu finden. An der *Facies articularis distalis* des Metatarsus in Abb. 7.8 sind so stark ausgeprägte Strukturen, wie sie auf den anderen, der Witterung ausgesetzten Gelenkflächen zu finden sind, nicht vorhanden. Statt dessen sind unmittelbar neben dem Sagittalkamm medial und lateral am Übergang zur eigentlichen Trochlea parallel zum Sagittalkamm verlaufende Linien sowie weitere Linien an den Abdrücken der Sesambeine zu sehen. Es dürfte sich dabei um ein Zeichen für das befinden in einer anderen Ebene handeln. Die Tatsache, dass die Knochen, die nicht der Witterung ausgesetzt waren, viel weniger Linien aufweisen, ist ebenfalls ein Indikator für das Vorhandensein einer knorpeligen Schicht. Knorpel ist naturgemäß viel flexibler als Knochen und stellt eine Polsterung für die subchondralen Knochenplatten dar. Entsprechend kann Knorpel immer wieder nach Belastungen seine ursprüngliche Form zurückgewinnen. Die Belastungen landen, wenn auch durch den Knorpel besser auf die Gelenkfläche verteilt und so in speziellen Gelenkorten abgeschwächt, letztlich doch auf dem Knochen.

Bei den Pferden aus Ausgrabungen ist es folgerichtig möglich, die Strukturen, die, wie Abb. 7.17 beweist, auch hier vorhanden sein können, als einen Indikator für den Abrieb, der sich im Laufe der Zeit ergeben hat, zu sehen.

8. Die Griffelbeinsynostosierung

8.1. Grundlagen

Beiderseits der Metapodien liegt je ein Griffelbein. Dabei handelt es sich um rudimentäre Metapodien. Medial befindet sich z.B. der Metacarpus II und lateral der Metacarpus IV (Abb. 8.1, siehe auch Abb. 4.5). Metacarpus I und V fehlen dem Pferd vollständig. Die Griffelbeine liegen palmar und reichen bis zum distalen Mittelfußdrittel. Sie sind proximal gelenkig und distal durch Verbänderung an das Metapodium III angeschlossen (Koch 1976).

Ein von allen unmineralisierten Bestandteilen freigelegtes Metapodium, wie dieses bei dem Material der vorliegenden Arbeit der Fall ist, bindet die Griffelbeine (Metacarpen/Metatarsen II und IV) nur durch bereits stattgefundene Verknöcherungsprozesse (Abb. 8.1). Die Knochen sind dann miteinander verwachsen (Synostosierung).



*Abb. 8.1: Rechter Metacarpus des 15-jährigen Pferdes Nr. 6.
Die Griffelbeine sind beiderseits durch Verknöcherungen fest mit dem Metacarpus III verbunden und wurden daher bei der Mazeration nicht abgelöst.*

Im Zuge der Bearbeitung von Tierknochen aus Ausgrabungen war schon aufgefallen, dass die Griffelbeine bei älteren Tieren fast immer synostosierte sind. Bei jüngeren Tieren schien die Synostosierung die Ausnahme zu sein. Auch gibt es sehr frühe Synostosierungen, die möglicherweise mit Stellungsfehlern zusammenhängen können. Um zu sehen, ob sich die Verhältnisse bei unserem Material ähnlich darstellen, wird die Griffelbeinsynostosierung an dieser Stelle tabellarisch erfasst.

8.2. Ergebnisse

Für 18 Tiere können Angaben zur Synostosierung der Griffelbeine gemacht werden. 7 Tiere sind unter 10 Jahre alt. Von ihnen weist nur das 3-jährige Pferd 9 eine Griffelbeinsynostosierung am linken Metacarpus sowie jeweils eine an den Metatarsen auf. Dieses Pferd hat an allen Metapodien deutliche Fehlstellungen.

Von den fünf 10 bis 20-jährigen Pferden sind bei 2 Pferden alle 4 Griffelbeine der Vordergliedmaßen synostotiert. Bei 2 Tieren sind 3 Griffelbeine, bei einem 2 Griffelbeine mit den Metacarpus III verwachsen.

Bei den Metatarsen der 10 bis 20-jährigen Tiere kommt eine Synostosierung beider Griffelbeine an einer Gliedmaße nur zwei Mal vor. Bei keinem Pferd sind alle 4 Griffelbeine synostotiert.

Von 6 Individuen ist das Alter unbekannt; lediglich aufgrund der bereits spurenlosen abgeschlossenen Synostosierung der Epiphysen der Metapodien kann gesagt werden, dass alle Tiere mindestens 1,5 Jahre alt sind. Hier sind bei einem Tier an allen Gliedmaßen jeweils die Metapodien II, bei den anderen keine Griffelbeine synostotiert.

Bei keinem der 18 Pferde sind die Metapodien IV zeitlich vor den Metapodien II synostotiert. Dieses trifft für alle 8 Synostosierungsorte, also unabhängig von der einzelnen Gliedmaße zu.

Pferd	Alter	McIV	McII	McII	McIV	MtIV	MtII	MtII	MtIV
		li.	li.	re.	re.	li.	li.	re.	re.
11	2	o	o	o	o			o	o
1	3	o	o	o	o	o	o	o	o
3	3	o	o	o	o	o	o	o	o
9	3	o	x	o	o	o	x	x	o
5	5	o	o	o	o	o	o	o	o
KT36	5-6	o	o	o	o	o	o		
LO	6-7	o	o			o	o	o	o
4	11	o	x	x	o	o	o	o	o
7	13	x	x	x	x	o	x	x	o
2	14	x	x	x	x	o	x	x	x
6	15	o	x	x	x	o	o	x	o
8	20	x	x	x	o	x	x	o	o
12	n.b.			o	o				
13	n.b.					o	o		
14	n.b.					o	o	o	o
15	n.b.					o	o	o	o
16	n.b.	o	x	x	o	o	x	x	o
17	n.b.	o	o	o	o	o	o	o	o

Tab. 8.1: Synostosierung von Metacarpus II und IV.

Die Individuen sind nach ihrem Alter in Jahren sortiert. Bei den Tieren KT36 und LO aus Ausgrabungen sind die Altersangaben mit Hilfe weiterer Knochenfunde von den Archäozoologen erstellt (Bitzan, May 1990). Für 12 bis 17 liegen keine Altersangaben vor. Bei den ausgelassenen Feldern ist das Metapodium nicht vorhanden.

Mc: Metacarpus, li.: links, re.: rechts,
o: keine Synostosierung,
x: synostotiert,
n.b.: nicht bestimmbar.

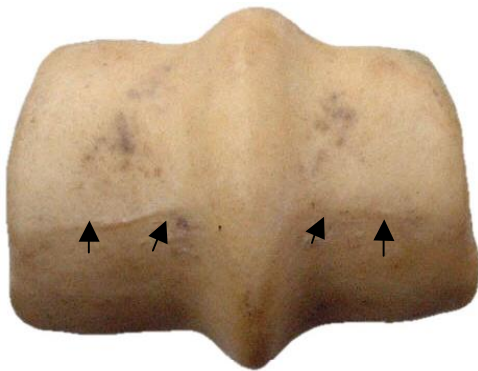
8.3. Diskussion

Das vorliegende Material belegt, dass die Synostosierung der Griffelbeine im Altersgang eine obligatorische Erscheinung ist. Dieses gilt allerdings nur, sofern keine Fehlstellungen vorliegen. Offenbar bewirkt eine Fehlstellung mit der damit einhergehenden Belastungsverlagerung zu einer Gliedmaßeenseite eine schnellere Verknöcherung der kollagenen Verbindungen der Griffelbeine mit dem Metacarpus III. Bislang erfolgte bei Pferdeknochen aus Ausgrabungen, die nur selten vollständig von einem Individuum erhalten sind, die Altersbestimmung anhand der Zähne und dem Schluss der Epiphysenfugen (Habermehl 1975). Beide Methoden ermöglichen nach meinen Erfahrungen eine Altersbestimmung mit einer Genauigkeit von +/- einem halben Jahr. Diese Genauigkeit kann sicherlich nicht anhand des Synostosierungszustandes der Griffelbeine geboten werden. Da es aber bei Ausgrabungsknochen durchaus vorkommt, dass nur Metapodien zur Altersbestimmung vorhanden sind, ist die Synostosierung der Griffelbeine zumindest zur groben Einordnung als tauglich anzusehen.

9. Druckspuren an den Facies articularis distalis der Metapodien

9.1. Ergebnisse

Die Facies articularis distalis aller Individuen lassen sich deutlich anhand einer quer verlaufenden Druckspur in einen dorsalen und palmaren Anteil gliedern (Abb. 9.1).



*Abb. 9.1: Abdrücke auf der Facies articularis distalis der Metacarpen, oben dorsal.
Alle Individuen weisen medial und lateral des Sagittalkammes eine im 90° Winkel zum Sagittalkamm verlaufende geradlinige Spur auf. Dorsal dieses Abdruckes erhebt sich das Knochenmaterial etwas.*

Diese Druckspur entspricht den dorsalen Rändern der beiden Sesama bina (Abb. 4.8). Obwohl bei jedem Individuum deutlich erkennbar, ist ihre Ausprägung unterschiedlich.

9.2. Diskussion

Die Druckspur ist ein weiterer Beweis für die Formbarkeit von Knochen. Offenbar üben die Sesambeine einen nicht unerheblichen Druck auf die Trochlea der Metapodien aus. Dieser Druck muss zwangsläufig in der Stützbeinphase aufkommen. Möglicherweise ist die Einfederungskapazität für die Deutlichkeit der Druckspur von Bedeutung.

10. Unterschiedliche Ausprägung der Trochlea medial und lateral

10.1. Grundlagen

Schon länger war bei der Bearbeitung von Pferdeknochen aufgefallen, dass eine Zuordnung zu einer bestimmten Gliedmaßenseite anhand der stärkeren Ausprägung des medialen Anteils der Trochlea der Metapodien möglich ist. Entsprechend ist auch der mediale Teil der Facies articularis proximalis der Phalanx I stärker ausgeprägt. Auch Schäfer hat dieses in seiner Untersuchung festgestellt (Schäfer 2001). Zuzüglich hat er festgestellt, dass sich das Walzenprofil bis zu einem Alter von drei Jahren ändert (Abb. 10.1). Danach kommt es zu keiner weiteren Veränderung. Von distal betrachtet werden die lateralen und medialen Ränder ausladender. Das gilt besonders für den Übergang zu den palmaren und dorsalen Rändern. Diese Veränderung betrifft den medialen Teil stärker.

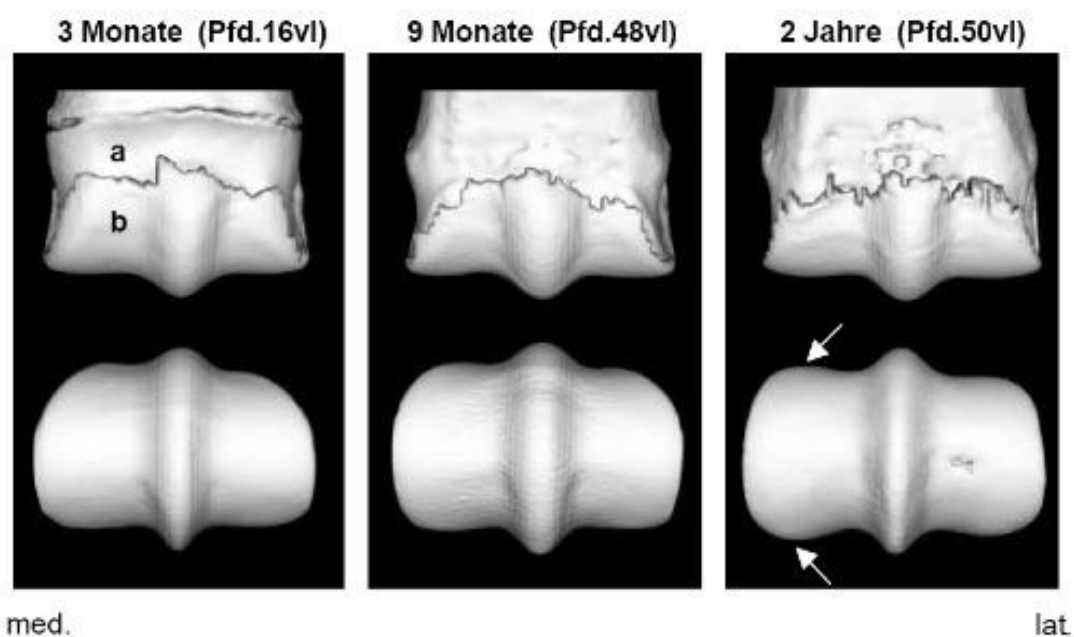


Abb. 10.1: Walzenprofil an der Trochlea des Metacarpus im Altersgang (nach Schäfer 2001, modifiziert). Das Walzenprofil der Trochlea ändert sich mit dem Heranwachsen des Tieres. Die Trochlea erfährt eine Vergrößerung der Gelenkfläche durch eine Verbreiterung. Besonders der mediale Teil wird ausladender (Pfeile). Dieses wird bei einem Pferd ab dem zweiten Lebensjahr deutlich.

Im Folgenden wird versucht, diese Erscheinung mit Hilfe neu eingeführter Maße festzuhalten.

10.2. Ergebnisse

An der Trochlea sind weitere als die üblichen Tiefenmaße abgenommen (Abb. 10.2). Es wurde die Tiefe der Trochlea medial und lateral gesondert gemessen.

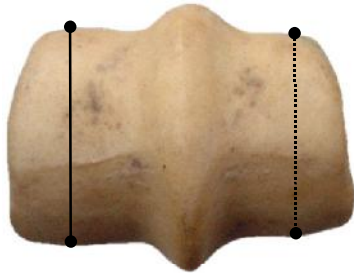


Abb. 10.2: Maße an der Trochlea der Metapodien. Durchgezogene Linie: Tiefenmaß der medialen Trochlea (Tdm), gestrichelte Linie: Tiefenmaß der lateralen Trochlea (Tdl).

So ergeben sich die Maße von insgesamt 28 Metapodien der im Jahre 2004 durch Schlachtung abgegangenen Pferde.

	Mc				Mt			
	Tdl		Tdm		Tdl		Tdm	
	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.
1	3,7	3,7	3,9	3,9	3,7	3,7	4,1	4,0
2	3,6	3,5	3,8	3,8	3,5	3,6	3,9	3,9
3	3,8	3,7	4,0	3,9	3,6	3,7	4,0	4,0
4	4,0	4,0	4,3	4,4	3,9	3,9	4,4	4,5
5	3,6	3,6	3,8	3,7	3,5	3,6	3,9	4,0
6	4,1	4,0	4,3	4,3	3,9	4,0	4,4	4,4
7	3,5	3,4	3,7	3,7	3,5	3,6	3,9	4,0
8	4,3	4,3	4,6	4,6	4,3	4,2	4,6	4,6
9	3,6	3,6	3,7	3,8	3,6	3,7	4,1	4,1
10								
11	3,9	3,8	4,1	4,1		3,9		4,3
12		3,7		4,1				
13					3,9		4,4	
14					3,0	3,1	3,3	3,3
15					3,4	3,5	3,8	3,8
16	3,6	3,7	4,0	4,0	3,6	3,6	4,1	4,1
17	3,3	3,2	3,5	3,5	3,2	3,2	3,6	3,6
LO	2,9		3,1		2,9	2,9	3,3	3,3
KT36	2,6	2,6	2,9	2,9	2,6	2,6	2,9	2,9

Tab. 10.1: Trochlea der Metacarpen medial und lateral.

Der mediale Teil der Trochlea an den Metapodien ist grundsätzlich tiefer als der laterale Teil. Bei den ausgelassenen Feldern sind die entsprechenden Knochenelemente nicht vorhanden.

Tdl: Tiefe distal lateral, Tdm: Tiefe distal medial (Abb. 10.2), Maße in cm.

Die Trochlea medial ist bei allen Metapodien tiefer als die Trochlea lateral (Tab. 10.1).

Nachfolgende Tabelle zeigt den Prozent-Wert, um den die Tiefe des medialen Teiles die Tiefe des lateralen Teiles überschreitet.

Ind.	Mc		Mt	
	li	re	li	re
1	7,1	5,1	9,5	8,2
2	6,7	7,1	11,1	9,5
3	4,7	6,8	12,0	8,6
4	8,3	9,3	11,3	14,0
5	6,7	2,5	11,0	12,6
6	5,7	6,7	12,5	9,7
7	7,2	9,4	10,5	12,7
8	6,7	6,1	8,2	9,0
9	3,6	4,7	14,1	12,5
11	5,7	6,5		10,6
12		9,9		
13			12,1	
14			8,6	6,4
15			9,0	9,7
16	11,0	9,0	14,4	14,5
17	7,6	10,0	14,2	13,9
LO	7,5		14,2	12,3
KT36	11,2	12,0	9,8	11,4

*Tab. 10.2: Prozentualer Mehr-Anteil der Tiefe der medialen Trochlea verglichen mit der lateralen Trochlea.
Entsprechend ist der Wert aus $x = (Tdm - Tdl) * 100 / Tdl$ errechnet.
Bei Pferd 1 beträgt z.B. die Tiefe der medialen Trochlea des Metacarpus links 7,1% mehr als die laterale Trochlea.*

Es fällt auf, dass der Wert für die Metatarsen grundsätzlich höher ist als derjenige der Metacarpen. Nur für KT36 trifft dieses nicht zu. Bei diesem Individuum besteht die Möglichkeit, dass durch die Jahrhunderte Knochenmaterial ungleichmäßig abgetragen wurde.

10.3. Diskussion

Offenbar formen sich die Gelenkflächen des Fesselgelenkes erst unter Belastung bis zum dritten Lebensjahr aus. Denkbar ist, dass ein Kontakt in Form einer Berührung der Knorpel von Phalanx I und Metapodium den Druck auf den noch instabilen Knochen erhöht. Dabei könnte durch eine „Pressung“ die Ausformung der Gelenkwalze entstehen. Den gleichen Effekt müsste der Druck dann auch auf die Phalanx haben, deren *Facies articularis proximalis* das Spiegelbild der Gelenkrolle der Trochlea aufweist und auch über die starke Ausprägung des medialen Anteils verfügt. Die stärkere Ausprägung des medialen Anteils scheint nach der Abbildung Schäfers (Abb. 10.1) schon im Fohlenalter vorhanden zu sein und sich erst dann, bei Belastung des Gelenkes, bis zum dritten Lebensjahr hin zu manifestieren.

Sehr auffällig ist die Ausprägung der medialen Trochlea der Metatarsen, die wesentlich stärker ist als bei den Metacarpen. Dies kann ein Hinweis auf die grundsätzlich stärkere Belastung des Fesselgelenks der Hintergliedmaßen sein. Der „Schub“ in der Bewegung wird mit den Hintergliedmaßen erzeugt, während die Vordergliedmaßen nur eine mehr abfangende Funktion haben.

Einen weiteren Hinweis auf die stärkere Belastung der Hintergliedmaßen bietet auch das Vorkommen isolierter Verschattungen im Fesselgelenk (im Röntgenbild erkennbare Knochen/Knorpelfragmente, die zu dem Erscheinungsbild der Osteochondrose gehören). Sowohl Heinz (1993) als auch Reininghaus (2003) konnten in ihren Studien zeigen, dass die Fesselgelenke der Hintergliedmaßen deutlich häufiger betroffen sind. Diese isolierten Verschattungen korrelieren mit Schäden dorsal am Sagittalkamm (Heinz 1993, Kirchner 1996), die wiederum, wie in der vorliegenden Arbeit gezeigt, mit den Rissen in der Sagittalrinne der Phalangen korreliert sind.

Die Gefahr der Ausbildung einer Osteochondrose ist offenbar an den Hintergliedmaßen größer, da hier schon naturgegeben eine höhere Belastung existiert. Die stärkere Ausformung der medialen Trochlea der hinteren Gliedmaßen unterstützt diese Theorie.

11. Die Messdaten

11.1. Grundlagen

Um die Grunddaten auch anderen Personen für weitere Analysen zugänglich zu machen, werden die entnommenen metrischen Daten an den Metapodien, Phalangen I und Cervicalwirbeln angegeben. Auch wenn nicht alle Daten in dieser Arbeit Verwendung finden, so sind sie zur vergleichenden Verwendung für die Beurteilung anderer Pferdepopulationen von Bedeutung.

Als Grundlage dienen hierbei Messstrecken, wie sie üblicherweise an Knochen aus Grabungen verwendet werden (v.d. Driesch 1976). Alle Maße sind in cm mit einer Kommastelle angegeben. Weitere Kommastellen würden eine Messgenauigkeit vortäuschen, die bei dem Anlegen der Messstrecken an derart variabel gestaltetem Material nicht existieren kann. Die Messstrecken sind nachfolgend genau aufgeführt.

Es befinden sich Knochen folgender Individuen in diesen Tabellen:

Tiere, die im Jahre 2004 durch Schlachtung abgegangen und deren Knochen eigens für diese Arbeit präpariert wurden. Es handelt sich dabei um die Individuen 1 bis 17, heutige Großpferde verschiedener Rassen.

Die Individuen LO und KT36 stammen aus Baden-Württemberg und sind ca. 1300 Jahre alt. Zum Teil standen mir noch einige Knochen dieser beiden Individuen im Original zur Verfügung, die ich dann als beispielhafte Repräsentanten für Pferde dieser Zeit mit einbezogen habe. Ihre Daten wurden in einer anderen Arbeit schon einmal veröffentlicht (Bitzan, May 1990).

11.1.1. Messstrecken

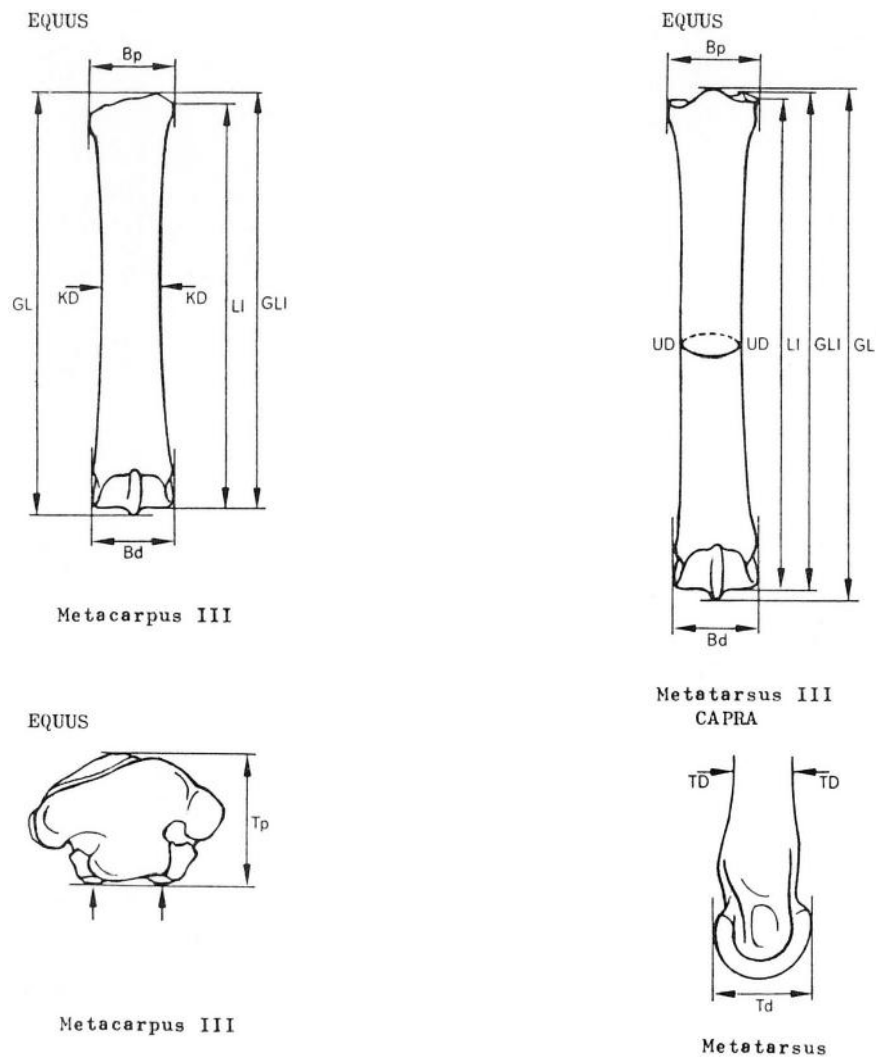


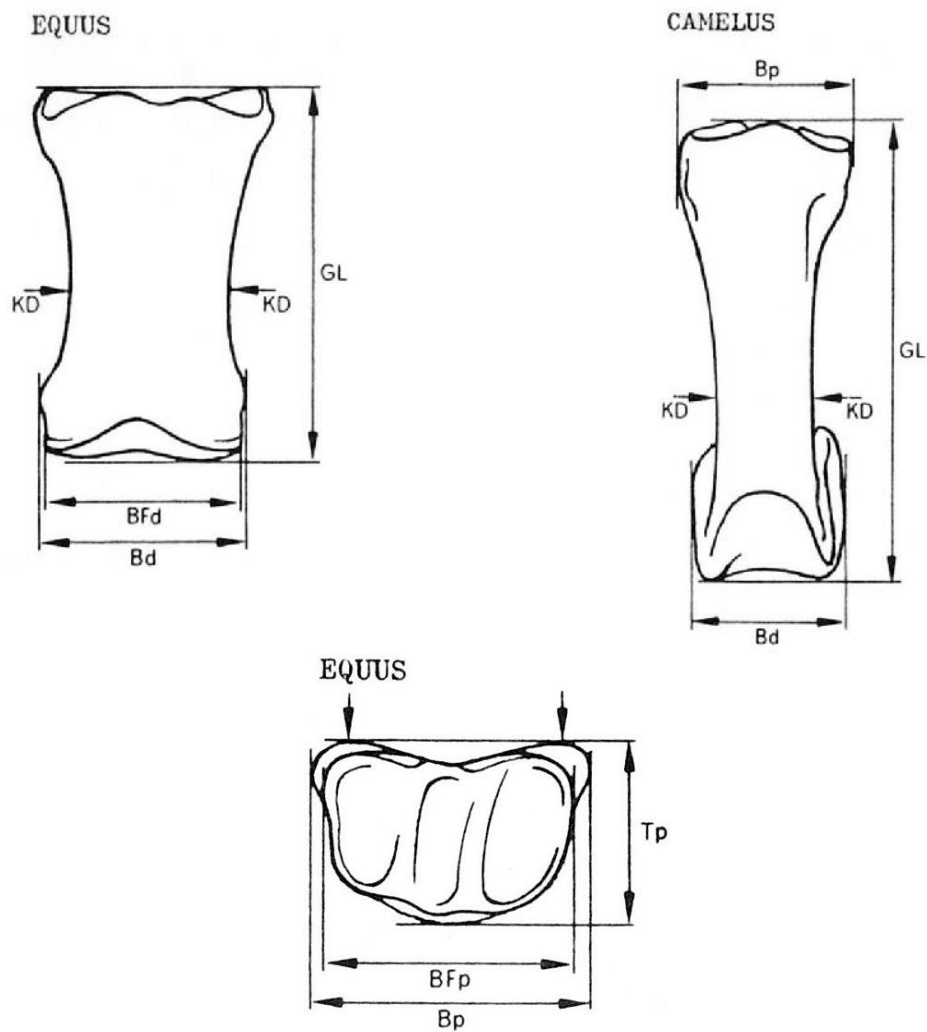
Abb. 11.1: Messstrecken an den Metapodien (alle Abbildungen nach v.d. Driesch 1976).

Hier verwendete Strecken:

Metapodien

GL	größte Länge
Bp	Breite proximal (nur Facies)
Tp	Tiefe proximal (nur Facies)
KD	kleinste Breite der Diaphyse
TD	Kleinste Tiefe der Diaphyse
Bd	größte Breite distal
Td	größte Tiefe distal

Tab. 11.1: Maße an den Metapodien.



Phalanx 1

Abb. 11.2: Messstrecken an den Phalangen (alle Abbildungen nach v.d. Driesch 1976).

Hier verwendete Strecken:

Phalanges 1 Os compedale

GL	größte Länge (Meßkasten)
Bp	größte Breite proximal
Tp	größte Tiefe proximal (Meßkasten)
KD	kleinste Breite der Diaphyse
TD	kleinste Tiefe der Diaphyse (Abb.xxx)
BFd	Breite der Facies articularis distalis

Tab. 11.2: Maße an den Phalangen.

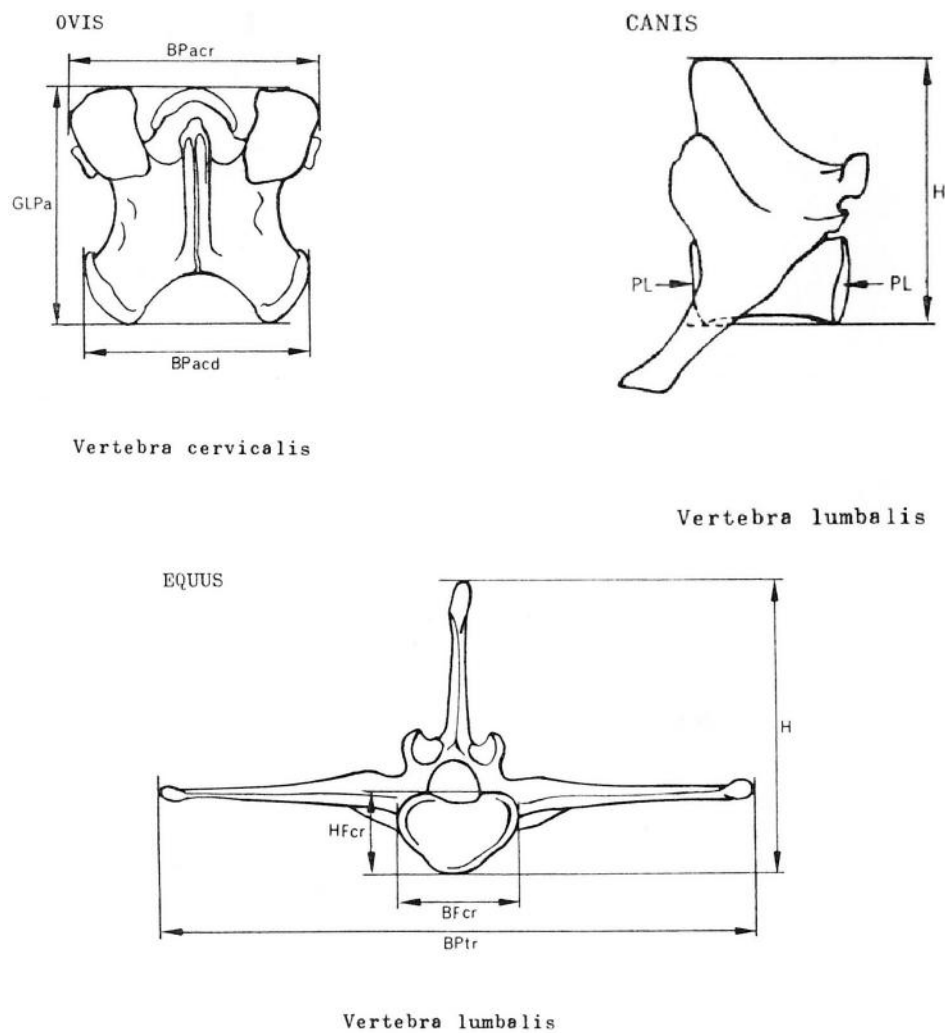


Abb. 11.3: Messstrecken an den Wirbeln (alle Abbildungen nach v.d. Driesch 1976).

Hier verwendete Strecken:

Vertebrae cervicales

PL	Physiologische Länge
BPacr	Breite über die Processus articulares craniales
BPacd	Breite über die Processus articulares caudales
BPtr	Breite über die Processus transversi
BF cr	Breite der Facies terminalis cranialis
BF cd	Breite der Facies terminalis caudalis
H	Größte Höhe

Tab. 11.3: Maße an den Wirbeln.

11.2. Ergebnisse

11.2.1. Metacarpus

Mc	GL		Bp		Tp		KD		TD		Bd		Td	
	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.
1	27,2	27,2	6,5	6,6	4,0	4,1	4,1	4,2	3,0	3,1	6,3	6,3	4,8	4,7
2	26,5	26,5	6,3	n.m.*	3,7	n.m.*	3,9	3,9	n.m.**	n.m.**	6,0	5,9	4,7	4,6
3	26,9	27,0	6,2	6,2	3,9	3,9	4,2	4,1	3,3	3,2	6,2	6,1	4,8	4,8
4	27,9	28,0	6,7	6,7	4,2	4,1	4,8	4,6	3,5	3,5	6,5	6,5	5,1	5,1
5	25,9	26,1	6,2	6,2	4,1	4,1	4,2	4,2	3,2	3,2	6,3	6,3	4,6	4,5
6	29,4	29,5	6,6	6,6	4,2	4,1	4,7	4,6	3,5	n.m.**	6,9	6,9	5,2	5,2
7	26,3	26,4	5,9	6,0	3,6	3,5	4,1	4,1	3,2	3,2	6,3	6,2	4,4	4,4
8	26,5	26,3	7,4	7,3	4,7	4,8	5,4	5,4	n.m.**	3,6	7,2	7,3	5,4	5,4
9	27,5	27,5	6,2	6,4	4,1	4,1	4,4	4,4	3,5	3,6	6,2	6,3	4,6	4,6
10														
11	28,9	29,0	6,4	6,6	3,8	3,9	4,0	4,0	3,1	3,1	6,2	6,3	4,8	4,8
12		27,8		6,4		4,1		4,2		3,2		6,5		4,8
13														
14														
15														
16	27,5	27,4	6,4	6,5	3,9	3,8	4,5	4,5	3,6	3,5	6,2	6,3	4,8	4,8
17	26,1	26,1	5,7	5,8	3,6	3,6	3,8	3,7	2,8	2,9	5,8	5,8	4,2	4,2
LO	23,9		4,9		3,1		3,3		2,7		5,0		3,6	
KT36	21,0	21,0	4,6	4,6	2,9	2,9	3,2	3,2	2,5	2,4	4,8	4,8	3,4	3,4

Tab. 11.4: Abgenommene Maße am Metacarpus.

Bei freien Feldern sind die Knochen nicht verfügbar. n.m.: nicht messbar wegen umfangreicher Exostosen, n.m.**: nicht messbar wegen umfangreicher Synostosierung der Griffelbeine, alle Maße in cm.*

11.2.2. Metatarsus

Mt	GL		Bp		Tp		KD		TD		Bd		Td	
	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.	li.	re.
1	32,2	32,2	6,5	6,3	4,6	4,7	4,0	3,8	3,6	3,7	6,5	6,4	4,9	4,9
2	30,6	n.m.*	5,9	n.m.*	4,6	n.m.*	3,7	3,8	3,8	n.m.**	5,9	6,0	4,8	4,9
3	31,4	31,6	6,3	6,3	5,3	5,0	4,1	4,2	3,9	3,9	6,2	6,3	5,0	5,0
4	33,3	33,4	6,6	6,7	5,5	5,4	4,7	4,6	4,0	4,1	6,6	6,7	5,4	5,4
5	30,4	30,3	6,4	6,4	4,8	5,0	4,0	4,0	3,6	3,7	6,3	6,3	4,9	4,9
6	33,9	33,9	6,9	6,9	5,3	5,0	4,5	4,6	4,4	4,3	6,8	6,9	5,3	5,5
7	31,2	31,0	6,5	6,3	4,8	4,7	3,9	3,9	3,7	3,6	6,5	6,4	4,6	4,7
8	30,3	30,6	7,1	6,9	5,6	5,6	4,9	5,0	n.m.**	4,3	7,4	7,2	5,6	5,5
9	32,1	32,3	6,3	6,3	4,9	5,0	4,8	4,6	4,3	n.m.**	6,4	6,5	4,8	4,8
10														
11		33,2		6,2		5,0		3,9		3,8		6,3		5,2
12														
13	n.m.***		n.m.***		n.m.***		4,0		3,7		6,6		5,2	
14	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	3,2	3,3	3,1	3,2	5,4	5,4	4,0	4,0
15	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	3,9	3,8	3,5	3,6	5,9	5,9	4,6	4,6
16	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	4,3	4,5	3,9	4,1	6,3	6,3	5,0	4,9
17	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	n.m.***	3,5	3,6	3,4	3,4	5,8	5,8	4,4	4,3
LO	28,2	28,2	4,8	4,8	3,8	3,7	3,1	2,9	3,0	3,0	5,0	4,9	3,8	3,8
KT36	24,9	25,2	4,5	4,5	3,8	3,7	2,8	2,8	2,9	2,9	4,8	4,7	3,7	3,6

Tab. 11.5: Abgenommene Maße am Metatarsus.

Bei freien Feldern sind die Knochen nicht verfügbar. n.m.: nicht messbar wegen umfangreicher Exostosen, n.m.**: nicht messbar wegen umfangreicher Synostosierung der Griffelbeine, n.m.***: nicht messbar, da proximale Epiphyse abgetrennt, alle Maße in cm.*

11.2.3. Phalanx anterior

Ph1 ant.	GL		Bp		Tp		KD		BFd	
	li	re	li	re	li	re	li	re	li	re
1	10,6	10,5	6,6	6,6	4,4	4,5	4,1	4,1	5,4	5,4
2	10,2	10,1	6,5	6,4	4,5	4,4	4,1	4,2	5,4	5,4
3	10,2	10,1	6,6	6,6	4,6	4,5	4,2	4,2	5,2	5,3
4	10,9	10,8	6,9	6,9	5,1	5,2	5,2	5,1	5,8	5,9
5	10,5	10,5	6,8	6,8	4,7	4,6	4,2	4,2	5,5	5,6
6	11,3	11,3	7,5	7,6	4,7	4,7	4,7	4,7	6,1	6,1
7	10,5	10,4	6,7	6,6	4,4	4,3	4,1	4,1	5,3	5,3
8	10,7	10,8	n.m.*	n.m.*	5,4	5,4	n.m.*	n.m.*	6,2	6,3
9	11,2	11,3	6,9	7,0	4,7	4,6	4,3	4,5	5,4	5,5
10										
11	10,6	10,7	6,5	6,6	4,5	4,7	4,1	4,2	5,5	5,5
12		11,0		7,1		4,7		4,5		5,6
13										
14										
15										
16	10,8	10,7	7,0	7,0	4,7	4,7	4,5	4,5	5,6	5,6
17	10,2	10,0	6,2	6,2	4,1	4,0	3,8	4,1	5,0	4,9
LO	8,9	9,0	5,3	5,3	3,3	3,3	3,4	3,5	4,4	4,5
KT36	7,7	7,7	5,2	5,2	3,4	3,4	3,3	3,4	4,3	4,3

*Tab. 11.6: Abgenommene Maße an den Phalangen der vorderen Gliedmaßen.
Bei freien Feldern sind die Knochen nicht verfügbar.
n.m.*: nicht messbar wegen umfangreicher Exostosen, alle Maße in cm.*

11.2.4. Phalanx posterior

Ph1 post.	GL		Bp		Tp		KD		BFd	
	li	re	li	re	li	re	li	re	li	re
1	10,4	10,4	7,2	7,0	5,0	4,8	4,2	4,2	5,4	5,4
2	n.m.*	9,8	6,6	6,6	4,8	4,7	4,4	4,4	n.m.*	n.m.*
3	9,8	9,9	6,9	7,0	4,9	4,9	4,2	4,3	5,2	5,3
4	10,6	10,7	7,4	7,4	5,5	5,5	4,8	4,9	5,7	5,8
5	10,2	10,2	6,8	6,9	5,0	5,1	4,2	4,2	5,4	5,4
6	11,1	11,0	7,7	7,7	5,2	5,4	4,6	4,7	5,8	5,9
7	10,3	10,2	6,8	6,8	4,8	4,7	3,9	3,9	5,2	5,1
8	10,4	10,2	8,4	8,5	5,8	5,7	5,5	5,5	6,0	5,9
9	11,4	11,4	6,8	6,9	5,2	5,5	4,5	4,5	5,3	5,3
10										
11		10,4		6,8		4,8		4,2		5,3
12										
13	10,9		7,1		5,2		4,4		5,2	
14	9,2	9,0	5,9	6,0	4,2	4,1	3,5	3,5	4,5	4,6
15	10,1	10,3	6,7	6,9	5,1	5,2	4,0	4,1	4,9	4,9
16	10,3	10,3	7,1	7,1	4,9	4,9	4,4	4,3	5,4	5,3
17	9,8	9,8	6,3	6,3	4,4	4,4	3,6	3,6	4,8	4,8
LO	8,7	8,6	5,4	5,4	3,8	3,8	3,2	3,2	4,2	4,3
KT36	7,4	7,4	5,2	5,2	3,7	3,7	3,2	3,1	4,2	4,1

*Tab. 11.7: Abgenommene Maße an den Phalangen der hinteren Gliedmaßen.
Bei freien Feldern sind die Knochen nicht verfügbar.
n.m.*: nicht messbar wegen umfangreicher Exostosen, alle Maße in cm.*

11.2.5. Physiologische Längen der Halswirbel

Pferd	Atlas	Axis	C3	C4	C5	C6	C7
1	4,9	14,9	10,5	10,4	10,1	9,2	
5	4,0	15,0	10,6	10,2	10,0	9,3	
6	5,1	15,7	11,5	11,1	11,0	10,5	
7	4,5	14,9	11,1	10,6	10,6	9,4	
8	5,5	15,5	11,2	10,9	10,5	10,2	
9	5,3	15,6	11,0	10,6	10,2	9,6	
10	4,9	15,7	11,6	11,2	10,6	9,7	
11	4,2	14,5	10,5	10,2	9,6	9,2	
LO			7,5	8,2	7,0	7,2	5,4
KT36	3,4	11,6	7,8	7,6	7,1	6,4	5,0

*Tab. 11.8: Die Physiologischen Längen der Halswirbel.
Bei freien Feldern sind die Knochen nicht verfügbar. Alle Maße in cm.*

11.2.6. Detaillierte Maße am C4

C4	PL	BPacr	BPacd	BPtr	BF cr	HF cr	H
1	10,4	9,8	8,6	13,0	3,9	4,8	9,5
5	10,2	9,7	9,8	13,0	3,6	4,6	9,8
6	11,1	10,4	10,1	14,6	4,2	5,3	11,5
7	10,6	9,6	9,0	13,5	3,5	4,6	10,5
8	10,9	12,1	11,1	15,3	4,5	5,2	12,5
9	10,6	10,2	10,4	14,4	3,9	4,8	10,3
10	11,2	10,3	9,6	14,5	4,3	5,1	11,2
11	10,2	9,3	8,7	11,7	4,2	4,8	9,7
LO	8,2	6,9	6,4		3,4	4,0	7,1
KT36	7,6	6,9			2,8	3,6	6,5

*Tab. 11.9: Abgenommene Maße am vierten Halswirbel.
Die detaillierteren Maße an den Halswirbeln sind exemplarisch nur am C4 gemessen.
Bei freien Feldern sind die Knochen nicht verfügbar. Alle Maße in cm.*

11.3. Auswertung

11.3.1. Errechnete Widerristhöhen

Es gibt Faktoren, mit denen die größten Längen der Langknochen multipliziert werden, um die Widerristhöhen der Tiere zu bestimmen (May 1985a). Mit einer möglichen Abweichung von +/- 8cm ist der so erhaltene Wert jedoch nur begrenzt für das einzelne Individuum aussagefähig. Dennoch ist es die einzige Möglichkeit, die Widerristhöhe annähernd zu bestimmen. Diese Faktoren finden gewöhnlich in der Analyse von Pferdeknochen aus Ausgrabungen Verwendung.

Im vorliegenden Fall sind die Metacarpen herangezogen, deren gemessene größte Längen nach May (1985a) mit dem Faktor 6,102 multipliziert werden (Tab. 11.10).

Individuum	errechnete Widerristhöhe (cm)
1	166
2	162
3	164
4	170
5	158
6	179
7	160
8	162
9	168
10	
11	176
12	170
13	
14	
15	
16	168
17	159
LO	146
KT36	128

Tab. 11.10: Nach May (1985a) aus den größten Längen der Metacarpen errechnete Widerristhöhen. Die Widerristhöhen der Schlachtpferde sind fett gedruckt.

In Deutschland werden Pferde bis zu einer Größe von 1,48m zu den Ponies gezählt. Bei höheren Widerristhöhen handelt es sich um Pferde. Nur die beiden Pferde aus der Ausgrabung in Baden-Württemberg (Bitzan, May 1990) sind den Ponies hinzuzurechnen. Sie stehen stellvertretend für viele Tiere der frühmittelalterlichen Zeitperiode, die so gut wie nie in das Pferdemaß hineinragen (Becker 2007, May 1994, Müller 1985, Bitzan, May 1990).

11.3.2. Längen-Breiten-Index (LBI)

Der Längen-Breiten-Index dient der Feststellung der Schlank- oder Breitwüchsigkeit von Pferden. Ein extrem schlankwüchsiges Individuum würde einem Vollblüter entsprechen; ein sehr breitwüchsiges Pferd wäre ein Kaltblut. Bei Pferden zwischen diesen Extremen spricht man von Warmblütern.

Zur Feststellung der Wuchsform wird im vorliegenden Fall die kleinste Breite der Diaphyse des Metacarpus (KD) in % der größten Länge angegeben. Es gilt für den Längen-Breiten-Index die Formel:

$$LBI = \frac{KD \cdot 100}{GL}$$

Um die so erhaltenen Werte besser in eine Vorstellung von den Tieren umsetzen zu können, ist die Verwendung der Wuchsformgruppen sinnvoll, die 1916 von A. A. Brauner (zitiert nach Ambros, Müller 1980) nachzulesen waren. Aus den Längen-Breiten-Indices des Metacarpus ergibt sich nach Brauner folgende Einteilung:

Gruppe 1: extreme Dünnbeinigkeit	(<13,5)
Gruppe 2: Dünnbeinigkeit	(13,5-14,4)
Gruppe 3: Halbdünnbeinigkeit	(14,5-15,4)
Gruppe 4: Mittelbeinigkeit	(15,5-16,4)
Gruppe 5: Halbdickbeinigkeit	(16,5-17,4)
Gruppe 6: Dickbeinigkeit	(≥17,5)

Mit dem Längen-Breiten-Index werden die beiden Pferde aus der Ausgrabung in die Gruppen 2 und 3 eingeteilt. Die Pferde aus den Schlachtungen gehören in die Gruppen 2 bis 6. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei dem Pferd Nr. 8, das in die Gruppe 6 gehört, um ein Kaltblut handelt.

Individuum	LBI	Gruppe
1	15,2	3
2	14,7	3
3	15,7	4
4	17,3	5
5	16,1	4
6	15,9	4
7	15,6	4
8	20,5	6
9	15,9	4
10		
11	13,7	2
12	15,3	3
13		
14		
15		
16	16,3	4
17	14,6	3
LO	13,9	2
KT36	15,0	3

*Tab. 11.11: Längen-Breiten-Index der Individuen.
Es standen nicht für alle Individuen Metacarpen zur Verfügung, auf denen die Einteilung in Wuchsformgruppen basiert.*

12. Schlussbetrachtung

Alle erzielten Ergebnisse meiner Arbeit verdeutlichen die grundlegende Strategie des Knochens, sich den Belastungen entsprechend zu formen. Dies geschieht einerseits durch Anpassung im Laufe der Evolution und andererseits auch durch Verformungsprozesse während der Individualentwicklung eines Tieres.

Die Evolution erbrachte den Knochen als Gerüst für die Knochenfische und alle Tetrapoden. Er ist notwendig als Ansatzstelle für die Muskeln, den der Fortbewegung dienenden „Zugriemen“. Nicht die Knochen waren zuerst da, sondern der Zwang, sich auf eine bestimmte Art fortbewegen zu müssen. Das hat den Knochen mit Hilfe der Kräfte, die die Tierkörper selber und die Muskeln bei der Lokomotion auf diesen ausüben, formiert. Beim Pferd war nicht das Metapodium III als gewichtstragendes Element zuerst da, sondern erst die Umwelt hat einen Lokomotionstyp verlangt, bei dem das Metapodium III derart verstärkt wurde, dass die anderen Glieder zurückgebildet wurden. Tiere mit der genetischen Anlage für ein verstärktes Metapodium III hatten größere Überlebenschancen und gaben so diese Anlagen an ihre Nachkommen weiter.

Auch bei dem einzelnen Individuum formt sich der Knochen, natürlich innerhalb des nun genetisch vorgegebenen Rahmens, entsprechend den Kräften, die an ihm ansetzen. Dies zeigt ganz besonders das Beispiel eines Schafes ohne Humerus, dessen dazugehörige Gelenkpfanne der Scapula sich nicht ausprägte (Fick 1921). Die dazugehörige Arbeit ist schon so alt, dass ihr im Zusammenhang mit heutigen Knochenproblemen kaum Beachtung geschenkt wird.

Dennoch ist gerade in einem Zeitalter, in dem uns unzählige technische Verfahren, mit deren Hilfe Ergebnisse erzielt werden können, die vor 100 Jahren niemand hätte erahnen können, das „immer wieder zurückkommen“ auf ganz einfache Beispiele sinnvoll.

Ansonsten kann nie die Idee entstehen, das Problem der Osteochondrose ebenfalls als eine Folge von auf den Knochen einwirkenden Kräften zu sehen. Es war eine Hoffnung, keine echte Vermutung oder gar Gewissheit, dass der mazerierte Knochen mehr über diese Erkrankung zeigen würde, als bisher in Röntgenstudien erkennbar war. Aus vorangegangenen Arbeiten an Pferdeknöcheln aus Ausgrabungen war ersichtlich, dass der reine Knochen wohl oftmals mehr offenbart, als Röntgenaufnahmen es tun.

Um so größer war dann die erste Überraschung, als bei den noch nicht ganz gesäuberten und entfetteten Knochen Risse in den Sagittalrinnen einiger Phalangen sichtbar wurden. Diese Risse sahen aus, als ob die Phalangen der Belastung durch den Sagittalkamm der Metapodien nicht haben standhalten können. Auch das war zunächst nur eine Vermutung, bedingt durch den optischen Eindruck. Um so verblüffender war dann später bei der genaueren Untersuchung an den fertigpräparierten Knochen, dass genau die dazugehörigen Metapodien die klassischen Osteochondrose-Befunde dorsodistal am Sagittalkamm aufwiesen, die sich in Rissen, Materialveränderungen und Inselbildungen darstellen. Beim Übereinanderlegen der defekten Stellen von Phalanx und Metapodium ergab sich die Hyperextensions-Stellung des Fesselgelenkes - ausgerechnet die Stellung, in der ein Belastungsmaximum auftritt.

In viel stärkerem Ausmaß, als erwartet, offenbarte sich nun, dass sich Knochen nicht nur während ihrer Evolution und auch in der Ontogenese des Individuums nach Belastungen ausrichten. Auch die Entstehung der Osteochondrose scheint eng an Belastungen gekoppelt zu sein. Mit dem Studium der Arbeit Schäfers (2001), in der ein Dichtemaximum in genau diesem Sagittalbereich, in dem die Defekte auftreten, im Alter von 0 bis 3 Monaten nachgewiesen wird, war wieder ein unerwarteter Befund dazugekommen. Denn genau in diesem Fohlenalter entsteht die Osteochondrose. All diese Fakten, kombiniert mit der Tatsache, dass Defekte am Sagittalkamm bei Pferdeknochen aus Ausgrabungen bisher nie vorkamen, erhärten die Annahme, dass die Osteochondrose "man-made" ist, wie schon Olsson im Jahre 1978 postulierte. Dass Ponies so gut wie nie Osteochondrose haben, passt ebenfalls zu der züchterischen Begründung, da Ponyfohlen bei dem geringeren Körpergewicht nie dieses Belastungsausmaß auf den Bereich des Dichtemaximums erreichen wie Großpferdefohlen.

Man weiß schon lange, dass die Osteochondrose beim Großpferd ein immer mehr zunehmendes Problem ist. Jedem Züchter ist es bekannt, dass es so viele Pferde mit einem derartig schwungvollen Bewegungsablauf z.B. in den neunzehnhundertfünfziger Jahren nicht gab. Warum hat man nie die Möglichkeit in Betracht gezogen, dass die zu dem Schwung notwendige Einfederung die Osteochondrose im Fesselgelenk begünstigt. Kann man denn wirklich der Meinung sein, dass eine züchterische Forcierung dieses Merkmals keine Nachteile mit sich bringt?

Die Lösung des Problems liegt wohl darin, dass die Tiermediziner, die an dem Osteochondrose-Problem geforscht haben, keine Züchter sind. Einem Züchter, der die Pferdezucht vor 30 Jahren schon kannte und heute kennt, wäre dieser Gangbild-Unterschied aufgefallen. Wären die Forscher auch Züchter, so hätten sie sich gefragt, ob der heutige, sehr schwungvolle Bewegungsablauf mit der Osteochondrose zusammenhängen könnte. Die Osteochondrose lässt sich nicht mit am Schreibtisch entwickelten Untersuchungskonzepten greifen, sondern nur am lebenden Pferd in dessen Gangmechanik.

Dennoch gibt es wichtige Ergebnisse aus dem deutschen Osteochondrose-Projekt, hauptsächlich aus dem Jahr 2003 (Reininghaus, Schober, Wilke). Einige der Ergebnisse konnten in den Arbeiten selber zwar nicht hinreichend erklärt werden und erschienen eher als ein Phänomen. Mit Hilfe der vorliegenden Arbeit ist die Erklärung jedoch möglich.

Man nahm immer an, dass große, schwere Fohlen von Osteochondrose im Fesselgelenk stärker betroffen sein müssten. Eine Untersuchung mit großem Stichprobenumfang an Fohlen ergab aber, dass eher schlanke, kleine Tiere Osteochondrose im Fesselgelenk haben (Wilke 2003). Den Federungsmechanismus als auslösenden Faktor betrachtend, wird schnell klar, wie dieses Ergebnis zustande kommt. Der Federungsmechanismus belastet viel stärker die Zone maximaler Dichte im sagittalen Bereich als Größe und Gewicht das könnten. Tiere mit schlanken, langen Beinen haben immer mehr Federungskapazität als Tiere mit dicken, kürzeren Beinen.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Osteochondrose im Sprunggelenk. Hier sind es in der Tat die großen Fohlen, die häufiger Befunde aufweisen (Wilke 2003). Beim Sprunggelenk ist nicht die Federung ausschlaggebend wie beim Fesselgelenk. Dieses Gelenk befindet sich in ständiger Abwinkelung und entsprechend des Hebelarmmodells ist ein längerer Arm ebenso eine größere Belastung wie ein größeres Gewicht.

Es erscheint unumgänglich, den züchterisch herausgearbeiteten Federungsmechanismus als ursächlich für die Probleme im Fesselgelenk zu akzeptieren. Das soll nicht heißen, dass in Zukunft Pferde ohne Schwung zum Zuchtziel erklärt werden sollten. Es gibt durchaus Pferde, die einen schönen Bewegungsablauf haben, ohne dieses mit überstarker Einfederung zu erzielen. Dieses genau zu formulieren sollte die Aufgabe weiterer Forschung sein.

Ursprünglich gar nicht für diese Arbeit geplant, kamen die Untersuchungen an den Knochen der Halswirbelsäule hinzu. Einer der beiden Schlachter, von dem die Knochen stammen, ist nicht mehr ganz jung und in seinem Familienbetrieb aufgewachsen. Er sagte, dass die meisten jungen Pferde wegen Ataxie geschlachtet würden. "Früher kam damit kaum einer" war die Aussage, die mich dazu bewog, auch die Halswirbelsäulen ataktischer und nicht ataktischer Pferde zu präparieren. Es lag nahe, dass diese Erkrankung auch "moderner Natur" sein könnte. Vielleicht kann der blanke Wirbelknochen darüber Auskunft geben, was genau den Spinalkanal im Halsbereich soweit einengt, dass eine taktmäßige Bewegung nicht mehr möglich ist.

Ebenso wie bei den Fesselgelenken offenbarten sich hier die ersten Ansichten von Anomalien schon am noch nicht ganz gesäuberten und entfetteten Knochen. Die Gelenkflächen der Processus articulares sahen zum Teil aus, als ob "Mäuse daran geknabbert hätten". Nach dem Fertigstellen der Knochen wurde ein Ausmaß an Abweichungen sichtbar, wie es nach der Gewöhnung an die intakten Wirbel der Pferde aus Ausgrabungen kaum vorstellbar war. Es war eigentlich kein Pferd dabei, das nicht über Randexostosen und Risse in den Gelenkflächen verfügte. Das Schadensausmaß war allerdings bei den ataktischen Pferden größer. Die Gelenkflächen waren im Gegensatz zu den Ausgrabungspferden eher queroval. Diejenigen der Grabungspferde sind längsoval. Welche Kräfte haben den Knochen in 1200 Jahren so verändert? Ist es Zufall, dass auch die gesunden Tiere Abweichungen aufweisen?

Die Literaturrecherche zu diesem Thema führte zu einer 40 Jahre alten Arbeit, der aus unklarer Ursache wohl nie größere Beachtung geschenkt wurde. Mechlenburg hatte 1967 klinisch unauffällige Großpferde untersucht und dabei kein einziges Tier ohne Abweichung von der Norm gefunden. Trotz Kompressionen des Rückenmarkes waren die Tiere unauffällig. Dass auch die Wirbel der gesunden Pferde der vorliegenden Untersuchung 40 Jahre später Abweichungen tragen, war also kein Zufall.

Die Arbeit Mechlenburgs erfolgte nicht am komplett mazerierten, sondern nur am mit dem Skalpell freigelegten Knochen. So ist es wahrscheinlich, dass die vielen Risse und Unebenheiten in den Gelenkflächen nicht entdeckt wurden. Auch wenn damals nur wenige Befunde als klassische Osteochondrose angesehen wurden, so ist doch das Aufkommen der anderen Befunde in Form von Arthrosen und sogar Fehlstellungen der kleinen Wirbelgelenke, auch schon bei sehr jungen Tieren, bemerkenswert. Heute weiß man, dass die Osteochondrose letztlich eine frühe Arthrose ist. Sie beeinträchtigt die Gelenke so sehr, dass sich im oft noch juvenilen Alter der Individuen Arthrosen entwickeln.

Wie konnte es dazu kommen, dass das Phänomen der Abweichungen an den Halswirbelgelenken durch weitere Forschungen nicht genauer untersucht worden ist? Wurde der wirtschaftliche Schaden einfach unterschätzt? Es konnte doch nicht so hingenommen werden, dass die hiesige Pferdezucht Tiere mit Stenosen des Rückenmarkes in Kauf nimmt. Warum hat man nicht gleich die Halswirbel klinisch auffälliger Tiere untersucht, um eine Abgrenzung zu den unauffälligen Tieren zu erkennen? Auf der anderen Seite wäre es genau so wichtig gewesen, Tiere zu finden, deren Wirbel ideal gebaut sind, um im Vergleich eine Begründung für die Abweichungen herauszufinden.

Die vielen von mir untersuchten Pferde aus Ausgrabungen zeigten mir, dass es auch Populationen gab und wohl auch noch gibt, deren Halswirbel ideal gebaut sind. Die an den Halswirbeln der Schlachtpferde gefundenen Läsionen gehören mit ihren Rissen, Inselbildungen und gar fehlenden Gelenkflächenteilen der Osteochondrose an, die sehr an die Befunde im Fesselgelenk erinnern. Die Gelenkflächen der kleinen Wirbelgelenke zeigen besonders medial durch scharfe, ausgezogenen Ränder, wie das Knochenmaterial auseinander und in Richtung Spinalkanal gepresst wurde. Der Begriff "spinale Ataxie" bezieht sich also nur auf die Symptomatik. Eigentlich müsste die Erkrankung „Osteochondrose der Halswirbelsäule“ heißen.

Schnell wurde klar, auch hier mussten seit der Zeit, in der die Ausgrabungspferde lebten, Veränderungen der Belastung der Halswirbel stattgefunden haben. Es muss sich um eine Veränderung handeln, die schon vor 40 Jahren existierte und sich möglicherweise in den letzten Jahren verstärkt hat. Hinzu kommt, dass Ponies so gut wie keine spinale Ataxie haben. Das sprach sehr für Gründe, die in der Belastung der Knochen zu suchen ist.

Wie auch bei den Fesselgelenken ergaben meine Untersuchungen bevorzugte Läsionsorte. Diese Orte scheinen tatsächlich auf eine verstärkte Belastung durch die auf die Wirbel einwirkenden muskulären Kräfte hinzudeuten. Genau dieses ergab dann die Auswertung der Befunde. Die caudalen Facies articulares haben an ihrem caudalen Rand ein hohes Maß an Abweichungen, die mit Substanzverlusten einhergehen. Genau dieser Rand ist bei der ausgeprägten Hals-Schwingung, die ein längerer Hals mit sich bringt, stark belastet. Und ausgerechnet die Wirbel C3 bis C7 und die Scapula bewegen sich durch muskuläre Verbindungen in den schnelleren Gangarten aufeinander zu (Denoix, Pailloux 2000).

Züchterisch ist eine schräge Schulter erwünscht (Becker 2002, 2006, 2007, Verband hannoverscher Warmblutzüchter e.V. (2005): Satzung, Stand: 6. Juni 2005), aus der eine hoch aufgesetzte Halsung entspringt. Das Eine ist ohne das Andere nicht möglich. Auch diese Eigenschaft wurde in den letzten Jahren hochgradig optimiert. Es gibt Hinweise darauf, dass es sich bei einer schrägen Schulter und einer hoch aufgesetzten und langen Halsung um ein schon länger züchterisch berücksichtigtes Merkmal handelt. Auf alten Pferdeabbildungen, die entstanden sind, bevor sich die Fotografie durchgesetzt hat, hat man die erwünschten Eigenschaften sehr übertrieben dargestellt. Das kann einen Zusammenhang mit der Schulter-Hals-Formation und den Abweichungen an den Halswirbeln andeuten, denn schon die vor 40 Jahren untersuchten Pferde Mechlenburgs hatten diese Probleme, die 1200 Jahre alten Ausgrabungspferde hingegen nicht.

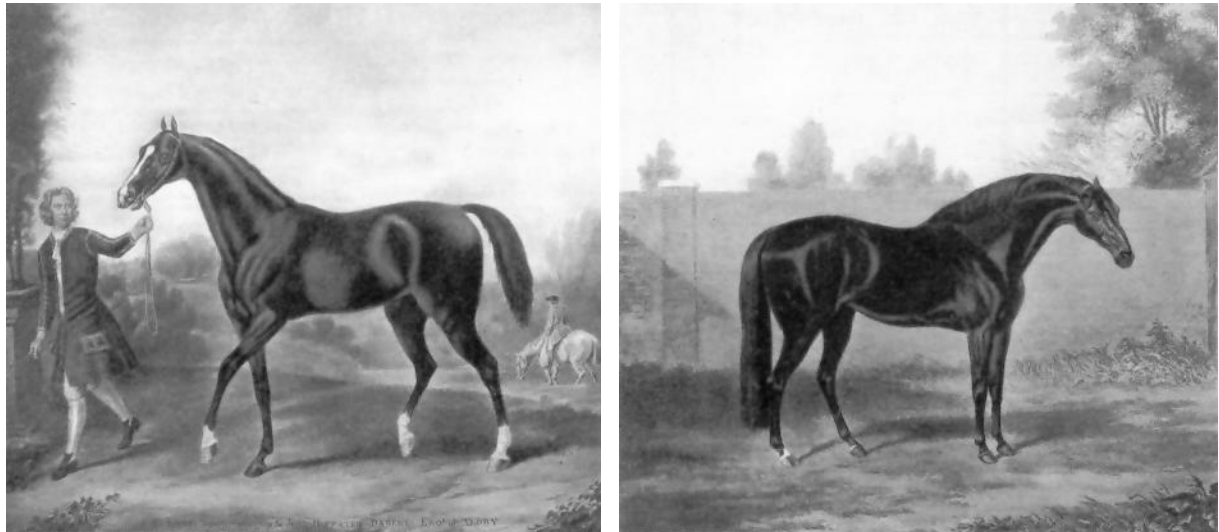


Abb. 12.1: Pferdegemälde aus dem 18. Jahrhundert (Abbildungen aus Edwards 1988). Gemälde aus dieser Zeit zeigen eine sehr deutliche Darstellung einer schrägen Schulter, eines hoch aufgesetzten Halses und einen übertrieben kleinen Kopf. Die Kruppe ist oft noch sehr gerade, wie bei dem Pferd links. Eine schräge Kruppe gehörte offenbar noch nicht zum erklärten Zuchtziel.

Es lohnt sich, zu sehen, ob es Pferde mit idealen Wirbeln gibt, die dennoch auch eine akzeptable Halsung haben. Was würde eine ansprechende Halsung und ein phänomenaler Bewegungsablauf allein nützen, wenn das Pferd möglicherweise manche Lektionen nur schwer oder gar nicht erlernt, weil ihm die Koordination aufgrund von Beeinträchtigungen des Rückenmarks Grenzen setzt?

Der „Konstruktion Pferd“ sind also Grenzen gesetzt, die bei Überschreitung zu "Materialbruch" führen. Besonders die von mir durch Zufall entdeckten Strukturen auf den Gelenkflächen, die in Form von Linien die "Packung" des Materials im subchondralen Knochen anzudeuten scheinen, zeigen, wie Risse sich in diese Linien einfügen, als handele es sich um zum Reißen perforierte Stellen.

Keine Mühe sollte gescheut werden, auf intakte, möglichst ideale Knochen zu achten und dennoch ein ansprechendes Pferd zu züchten. Wie jedes andere Material, so ist auch Knochen nicht unbegrenzt belastbar.

13. Zusammenfassung

Noch immer sind die Osteochondrose und die spinale Ataxie eines der ungelösten Probleme der modernen Pferdezucht. Die wirtschaftlichen Ausfälle sind groß, besonders, da oft erst zum Zeitpunkt der Vermarktung die Erkrankung erkannt wird. Bis dahin wurde oft schon viel in das Tier investiert.

Für beide Erkrankungen kennt man Faktoren, die die Erkrankung beeinflussen. Die eigentlich auslösenden Faktoren sind bislang nicht erkannt. Bisherige Untersuchungen basieren meist auf Röntgenaufnahmen. Röntgenaufnahmen können wegen der Darstellung mehrerer Schichten jedoch nicht alle Veränderungen zeigen. Ein „unmaskiertes“ Bild kann nur der reine, mazerierte Knochen liefern. Auf dieser Grundlage basiert diese Arbeit.

Zur Untersuchung von Osteochondrosen des Fesselgelenkes wurden die Gliedmaßen von 17 im Jahre 2004 geschlachteten Pferden mazeriert. Bei diesen 17 Tieren handelt es sich um eine zufällige Auswahl. In die Untersuchung gingen die Metapodien und Phalanges I ein. Aus dieser Individuenauswahl wurden die Halswirbelsäulen von acht Pferden ebenfalls mazeriert.

Sowohl an den Knochen des Fesselgelenkes als auch an den Halswirbeln wurden osteochondrale Defekte gefunden. Einige Befunde wurden bislang nicht beschrieben und stehen in einem engen Bezug zu schon bekannten klassischen Befunden.

Dazu gehört der klassische dorsodistale Befund am Sagittalkamm der Metapodien. Dabei handelt es sich um bis zu münzengroße Anomalien des Knochens in Form von Rissen und Materialveränderungen. Hierdurch ist dann auch die Phalanx betroffen. Bei einem osteochondralen Defekt am Sagittalkamm der Metapodien gehört ein Riss in der Sagittalrinne der entsprechenden Phalanx dazu. Setzt man die Knochen derart zusammen, dass beide Defekte übereinander liegen, so befindet sich das Gelenk in der Hyperextensionsstellung. Der Riss in der Sagittalrinne und der klassische Befund am Sagittalkamm befinden sich in Knochendichte-Maxima, die Fohlen bis zum dritten Lebensmonat aufweisen! Das ist das Alter, in dem die Osteochondrose angelegt wird. Dichtemaxima sind Zonen höherer Belastung. Dieser Befund des Fesselgelenkes ist fast immer auf beiden Körperseiten, jeweils der vorderen *oder* hinteren Extremitäten zu finden, nicht jedoch automatisch an allen vier Gliedmaßen. Es ist gleichzeitig so, dass stets die Fähigkeit eines Pferdes zur Hyperextension auf beiden Körperseiten identisch ist. Sonst würde das Pferd lahmen.

All diese Fakten deuten an, dass der letztlich auslösende Faktor im Pferdegebäude zu suchen ist, insbesondere in der Fähigkeit zur Hyperextension. So erklärt sich auch, warum schlankwüchsige Pferde stärker von der Osteochondrose im Fesselgelenk betroffen sind. Wegen der dünneren Sehnen können sie von der Hyperextension viel mehr Gebrauch machen als breitwüchsige Pferde. Diese Fähigkeit führt zu einem schwungvollen Gangbild, das in der Zucht gewünscht ist. Pferde aus Ausgrabungen, züchterisch unausgereift, haben solche Befunde im Fesselgelenk nicht.

Die Facies articulares proximales der Metapodien weisen Gelenkflächenvariationen auf, die nicht pathologischer Natur sind. Sie stellen jedoch einen wertvollen Hinweis auf die belastungsbedingte Formung des Knochens dar. Während bei kleineren Pferden die Gelenkflächen einheitlich und nicht unterbrochen sind, ist bei größeren Pferden eine Kompartimentierung der Gelenkflächen zu beobachten. Sie dürfte mit den längeren Hebelarmen im Zusammenhang stehen, die den Druck auf die Gelenkflächen punktuell verstärken und verlagern.

Einige der geschlachteten Pferde weisen die spinale Ataxie als Abgangsgrund auf. Deswegen wurden acht Halswirbelsäulen mit präpariert. Vier Halswirbelsäulen stammen von klinisch auffälligen Tieren.

Sowohl die Halswirbel der klinisch auffälligen Tiere als auch diejenigen der unauffälligen Tiere weisen Osteochondrosen der kleinen Wirbelgelenke auf, die mit ihren Rissen an die Befunde des Fesselgelenkes erinnern. Bei den klinisch auffälligen Tieren sind die Veränderungen jedoch schwerwiegender; zum Teil fehlen sogar Teile des Knochens. Derartige Schäden befinden sich besonders an den Gelenkflächen der caudalen Facies articulares, hier am Caudalrand. Teilweise ist der Caudalrand regelrecht abgerieben. Genau dieser Rand ist besonders belastet, wenn das Tier den Kopf oben trägt, was beim Laufen der Fall ist. Zudem ist es so, dass sich in schnelleren Gangarten das Schulterblatt und der Hals über muskuläre Verbindungen aufeinander zu bewegen. Es kommt auch in diesem Bereich zu einer Einfederung. Bei starker Federungskapazität des Fesselgelenkes wird dieser Vorgang noch verstärkt. So könnte der Federungsmechanismus im Fesselgelenk die Belastung auf die caudalen Ränder der Facies articularis caudalis ebenso erhöhen wie ein hoch aufgesetzter, langer Hals, bedingt durch höhere Drehmomente in Abhängigkeit von längeren Hebelarmen [Kraftarme/Lastarme].

Die Gelenkflächen der kleinen Wirbelgelenke der Halswirbel haben eine Neigung zu einer medial, also zum Spinalkanal hin, scharfkantigen Randwulstbildung. Dieses kommt besonders cranial vor.

Auch Pferde aus Ausgrabungen haben diese Randwulstbildungen, aber nur in Ansätzen. Der leichte Abrieb am caudalen Rand der *Facies articularis caudalis* kommt ebenfalls geringgradig vor. Die typisch osteochondrotischen Flächenschäden in Form von Rissen und Inselbildungen, wie sie bei klinisch auffälligen und unauffälligen heutigen Pferden vorkommen, sind nicht vorhanden.

Alle Fakten sprechen dafür, dass züchterische Maßnahmen das Gebäude der Tiere verändert haben und damit auch die Belastungssituation bestimmter Knochenteile verschärft haben. Es muss allerdings das Ziel bleiben, auch in Zukunft Pferde mit einem ansprechenden Gebäude und guten Grundgangarten zu züchten. Durch weitere, größer angelegte Untersuchungen dieser Art müssten die Gebäudekriterien derjenigen Pferde ermittelt werden, die über die gewünschten Eigenschaften verfügen und eine dennoch akzeptable Skelettgesundheit aufweisen.

14. Summary

Osteochondrosis and wobbler syndrome still are the unsolved problems of modern horse breeding. The economic casualties are great, because often the disease is only recognized at the time of sale. Until then the breeder has spent much money for growing up and training.

Factors of influence to both diseases are known, but until now the triggering factors are not sure. Many examinations are based on radiographs. They show many layers at the same time and it is difficult to recognize all changes of the bone. Pictures of pathologic signs without a „mask“ are only possible with pure, macerated bones. This is the basis of this examination.

To examine osteochondrosis of the fetlock joint the legs of 17 horses were macerated. These horses had been slaughtered in the year 2004. The horses were casually chosen. For the examination the metacarpi and metatarsi and the phalanges were applied. Of this selection eight cervical spines were macerated as well.

Deformities connected with osteochondrosis were found at the bones of the fetlock joints and at the cervical spines. Some of these deformities have not been described until now. They are closely connected with popular classical findings.

So the classical deformities at the sagittal ridge of the metacarpi and metatarsi were discovered. These are breaches and material changes of the bone as large as coins. Connected with these classical deformities are breaches in the sagittal groove of the phalanges. Both deformities appear together at the joints. The bones were put together, both defects laying one above the other. Then the joint is located in the movement phase of hyperextension. The breach of the sagittal groove and the classical finding at the sagittal ridge are located in the maximum area of bone density, which exists at foals until the age of three months. This is exactly the age for developing osteochondrosis. This finding is found on both leg sides. There is no connection of the front and back legs. The ability of hyperextension is always the same on both leg sides. Otherwise the horse would limp.

These facts imply that the triggering factor for osteochondrosis should be searched in the body construction of the horse, especially in the ability of fetlock-hyperextension. Here we can find the explanation for the higher incidence of osteochondrosis in the fetlock-joints of more slender horses. Because of the slender tendons they have a more distinctive ability for hyperextension than horses with broad bones. This ability leads to a swinging movement which is desired in modern horse breeding. On the other hand horses of excavations, concerning breeding not developed, are not affected by these findings in the fetlock joint.

The *facies articulares proximales* of the metacarpi and metatarsi consist of joint surface variations which are not pathologic. The variations are valuable hints of configuration of the joint surfaces because of pressure loading. The joint surfaces of little horses are consistent and not disconnected. Taller horses have disconnected joint surfaces. Possibly this is a sign for longer lever arms which are leading the pressure more to some point and not to the complete surface.

Four horses had been slaughtered because of wobbler syndrome. Their cervical spines were macerated and for comparison the cervical spines of four horses without wobbler syndrome.

The vertebrae of all eight horses consist of osteochondrosis of the *facies articulares*. They have similar fissure defects as found in the fetlock joints, but the findings of the horses suffering on wobbler syndrome are more serious. In parts some pieces of bone are actually missed. Such damages are particularly at the joint surfaces of the *facies articulares caudales*, especially at the caudal border. The caudal border is in parts rubbed off. Just this border is particularly loaded with pressure if the horse is wearing the head above while it is moving. Furthermore the scapula and cervical spine are moving to each other because of muscle connections during faster movements. As well flexibility in this area exists like in the fetlock joint. If the flexibility of the fetlock joint is strong the flexibility of the cervical-scapula area is stronger. Hyperextension of the fetlock joint may enhance the pressure to the caudal borders of the *facies articularis caudalis* like a long cervical spine which is high appointed.

Furthermore the *facies articulares* affect to a medial located (near the spinal canal) edged border-exostosis, especially at the cranial side.

Horses from excavations have such border-exostosis as well, but not very serious. Also the caudal border of the *facies articularis caudalis* is just a little rubbed off. But the excavation horses do not have the typical surface damages of osteochondrosis like breaches and figures of bone-isles which all modern horses suffering from.

All these facts indicate that breeding must have changed the body constructions of the horses. So the pressure on some parts of the bones becomes stronger. In spite of this the aim must stay to create a horse with reasonable capacities of movement. More studies with higher number of samples must determine the criterions of the horse body which would allow the desired kind of movement and still ensure a good bone health.

15. Literatur

Ambros C., Müller H.-H. (1980): Frühgeschichtliche Pferdeskelettfunde aus dem Gebiet der Tschechoslowakei. Archaeologica Slovaca: Fontes, 13, Veda, Vydavatel'stvo Slovenskej Akad. Vied., Bratislava.

Auer J. A., Rechenberg v. B. (1999): Diagnose und Behandlung von Osteochondrose beim Pferd. Skriptum für die Vorlesung des Sommersemesters, Universität Zürich.

Becker I. (2002): Osteologische Bearbeitung der Pferdeskelette aus dem sächsischen Gräberfeld von Rullstorf (Hannover). Diplomarbeit am Zoologischen Institut, Abteilung Anthropologie, der Technischen Universität Braunschweig.

Becker I. (2006): Zur nutzungsspezifischen und paläopathologischen Beurteilung von Pferdeknochen aus archäologischen Grabungen. In: Benecke N. (Hrsg.): Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie. Bd. V, Beier & Beran, Langenweißbach, 70-77.

Becker I. (2007): Die Pferde aus dem sächsischen Gräberfeld Rullstorf (Ldkr. Lüneburg) - eine anatomisch-paläopathologische Untersuchung und ein Vergleich mit rezenten Pferdepopulationen. Leipziger Online-Beiträge zur Ur- und Frühgeschichtlichen Archäologie Nr. 27, Rieckhoff S., Teegen W.-R. (Hrsg.), Leipzig.

Benecke N. (1994): Der Mensch und seine Haustiere, Geschichte einer jahrtausendealten Beziehung. Theiss Verlag, Stuttgart.

Bitzan M. G., E. May (1990): Osteologische Bearbeitung von merowingerzeitlichen Pferdeskeletten aus dem süddeutschen Raum. Fundberichte aus Baden-Württemberg, Band 15, Stuttgart, 305 – 351.

Böhm D., Waibl H. (1977): Zur Fesselbeinfraktur des Pferdes. Berl. Münch. tierärztl. Ws. 90, 373-375.

Broom N. D. (1988): An enzymatically induced structural transformation in articular cartilage. Arthritis Rheum. 31, 210-218.

Bruns E. (2001): Berücksichtigung von Merkmalen der Gesundheit in der Züchtung von Sportpferden. Arch. Tierz. 44/1, Dummerstorf, 119-127.

Busche S.-M. (2005): Die Implementierung der Selektion gegen Osteochondrose in ein Zuchtprogramm beim Warmblutpferd. Dissertation an der Georg-August-Universität, Göttingen.

Colles C. (2000): Pferde-Anatomie. Cadmos, Lüneburg.

Clark J. M., Huber J. D. (1990): The structure of the human subchondral plate. J. Bone Joint Surg. (Br) 72, 866-873.

De Bri E., Reinholt F. P., Svensson O. (1995): Primary osteoarthritis in guinea pigs: a stereological study. J. Orthop. Res. 5, 769-776.

Denoix J.-M., Pailloux J.-P. (2000): Physiotherapie und Massage bei Pferden, Bewegungstherapie nach den Gesetzen der Biomechanik. Ulmer, Stuttgart.

Driesch v.d. A. (1976): Das Vermessen von Tierknochen aus vor- und frühgeschichtlichen Siedlungen. Institut für Paläoanatomie, Domestikationsforschung und Geschichte der Tiermedizin, 2. Aufl., München.

Dyce K. M., Sack W. O., Wensing C. J. G. (1997): Die Schultergliedmaße des Pferdes. In: Dyce K. M., Sack W. O., Wensing C. J. G.: Anatomie der Haustiere. Enke, Stuttgart, 591-626.

Edwards E. H. (1988): Pferde, Begleiter des Menschen durch die Geschichte. Albert Müller Verlag, Rüschlikon-Zürich.

Ellenberger W., Baum H. (1943): Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haussäugetiere. Springer, Berlin.

Faller A., Schünke M. (1999): Der Körper des Menschen, Einführung in Bau und Funktion. 13. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart/New York.

Ferraro G. L. (1978): Selected injuries of the fetlock. Ann. Conv. Am. Ass. Equ. Pract, Proc. 24th., St. Louis.

Fick R. A. (1921): Über die Entstehung der Gelenkformen: mit Tierversuchen. Verl. d. Akad. der Wiss., Physikalisch-Mathematische Klasse, Berlin.

Franzen J. L. (2007): Die Urpferde der Morgenröte, Ursprung und Evolution der Pferde. Spektrum Akademischer Verlag, Elsevier, München.

Habermehl K. H. (1975): Die Altersbestimmung bei Haus- und Labortieren. Parey, Berlin.

Hartung K., Keller H., Münzer B. (1978): Ein Beitrag zur Röntgendiagnostik des Spats der Trabrennpferde. Prak. Tierarzt 19, 177-180.

Heinz T. C. (1993): Röntgenologische Reihenuntersuchung an den Zehen und Sprunggelenken Holsteiner Fohlen. Dissertation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover.

Hertsch B., Kroll S. (1999): Skeletteife beim Fohlen. Göttinger Pferdetage, FN Verlag der Deutschen Reiterlichen Vereinigung GmbH, 215-222.

Hildebrand M. (1985): Walking and running. In: Hildebrand M., Bramble D. M., Liem K. F., Wake D.B.: Functional vertebrate morphology. Harvard University Press, Cambridge (Mass.)/London, 38-57.

Hoppe F. (1984): Radiological investigations of osteochondrosis dissecans in Standardbred Trotters and Swedish Warmblood horses. Equine Vet. J. 5, 425-429.

Iannotti J. P. (1990): Growth plate physiology and pathology. Orthoped. Clin. North. Am. 21, 1-16.

Jansen T., Forster P., Levine M. A., Oelke H., Hurles M., Renfrew C., Weber J., Olek K. (2002): Mitochondrial DNA and the origins of the domestic horse. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), vol. 99, no. 16, 10905-10910.

Jeffcott L. B. (1991): Osteochondrosis in the horse – searching for the key to pathogenesis. *Equine Vet. J.* 23, 331-338.

Jeffcott L. (2001): Osteochondrosis in Young Horses: A Major Industry Problem. University Sydney, Post-Graduate Committee in Veterinary Science, Bd. 342, Sydney, 325-334.

Jeffrey A. K., Blunn G. W., Archer C. W., Bentley G. (1991): Three-dimensional collagen architecture in bovine articular cartilage. *J. Bone Joint Surg. (Br)* 73, 795-801.

Kiesewalter L. (1888): Skelettmessungen an Pferden. Dissertation, Leipzig.

Kirchner R. (1996): Röntgenologische Reihenuntersuchung an den Zehen und Sprunggelenken Holsteiner Zweijähriger (eine Verlaufsstudie). Dissertation am Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin.

Klein-Nulend J., Veldhuijzen J. P., Burger E. H. (1986): Increased calcification of growth plate cartilage as a result of compressive force in vitro, *Arthritis Rheum.* 29, 1002-1009.

Koch T. (1976): Veterinär-Anatomie, Bd. I, Bewegungsapparat. 3. Aufl., Fischer Verlag, Jena.

Krämer J. (1996): Orthopädie. 4. Auflage, Springer, Berlin/Heidelberg/New York.

Kroll A. (1999): Zur Osteochondrosis dissecans beim Saugfohlen. Dissertation am Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin.

Kroll A., Hertsch B., Höppner S. (2001): Entwicklung osteochondrotischer Veränderungen in den Fessel- und Talokruralgelenken im Röntgenbild bei Fohlen. *Pferdeheilkunde* 17, 489-500.

Lane J. M., Weiss C. (1975): Review of articular cartilage collagen research. *Arthritis Rheum.* 18, 553-562.

Launer P., Mill J., Richter W. (1999): Krankheiten der Reitpferde. Ulmer, 2. Auflage, Stuttgart.

Loeffler K. (1994): Anatomie und Physiologie der Haustiere. 9. Auflage, Ulmer, Stuttgart.

MacFadden B. J. (2005): Fossil horses – evidence for evolution. Science 307, 1728-1730.

Margaria R., Cerretelli P., Aghemo P., Sassi G. (1963): Energy cost of running. J. Appl. Physiol. 18, 367-370.

May E. (1985a): Widerristhöhe und Langknochenmaße bei Pferden - ein immer noch aktuelles Problem. Z. f. Säugetierkunde Bd. 50, H. 6, 368-382.

May E. (1985b): Zur morphologischen Ähnlichkeit zwischen einem Kinderskelett und einem Erwachsenen skelett der Grablege. In: Die Grablege Lothars III. in der Stiftskirche zu Königslutter. In: Kirchen Klöster Manufakturen, Historische Kulturgüter im Lande Braunschweig. Braunschweiger Vereinigter Studien- und Klosterfonds, 65-66.

May E. (1994): Die Pferdeskelette aus den Pferdegräbern und weitere Tierknochenfunde aus dem Gräberfeld von Liebenau. In: Häßler H. J. (Hrsg.): Studien zur Sachsenforschung, Band 5,4, Niedersächsisches Landesmuseum, Selbstverlag Häßler, Hannover, 133-188.

May E. (2008): Zur morphologischen Ähnlichkeitsdiagnose der 4 Sarkophagbestattungen. In: Kaiser Lothar III. und der „Kaiserdom“ in Königslutter. Interdisziplinäres Symposium 10.-12.8.2007, Braunschweigesches Landesmuseum (im Druck).

Mayhew I. G., De Lahunta A., Whitlock R. H. (1978): Spinal cord diseases in the horse. Cornell Vet. Suppl. 6, 11-207.

Mayhew I. G. (1989): Large Animal Neurology, a handbook for Veterinary Clinicians. Lea & Febiger, Philadelphia.

Mechlenburg G. (1967): Untersuchungen der Halswirbelsäule und des Rückenmarkes beim Pferd im Hinblick auf Veränderungen bei der spinalen Ataxie. Dissertation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover.

Mohr W. (2000): Gelenkpathologie, Historische Grundlagen, Ursachen und Entwicklungen von Gelenkleiden und ihre Pathomorphologie. Springer, Berlin/Heidelberg/New York.

Moore B. R., Reed S. M., Biller D. S., Kohn C. W., Weisbrode S. E. (1994): Assessment of vertebral canal diameter and bony malformations of the cervical part of the spine in horses with cervical stenotic myelopathy. *Am J Vet Res.* 55, 5–13.

Müller-Gerbl M. (1991): CT-Osteoabsorptiometrie (CT-OAM) und ihr Einsatz zur Analyse der Langzeitbeanspruchung der großen Gelenke in vivo. Habilitationsschrift, München.

Müller-Gerbl M. (1998): The subchondral bone plate, *Advances in Anatomy, Embryology and Cell-Biology*. Springer, Berlin.

Müller-Gerbl M., Schulte E., Putz R. (1987a): The thickness of the calcified layer of articular cartilage: a function of load supported? *J. Anat.* 154, 103-111.

Müller-Gerbl M., Schulte E., Putz R. (1987b): The thickness of the calcified layer in different joints of a single individual. *Acta Morphol. Neerl.-Scand.* 25, 41-49.

Müller H. H. (1985): Frühgeschichtliche Pferdeskelettfunde aus dem Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. *Weimarer Monographien zur Ur- und Frühgeschichte*, Bd. 15, Beiträge zur Archäozoologie, Bd. IV, Weimar.

Müller H. J. (1967): Form und Funktion der Scapula, Vergleichend analytische Studien bei Carnivoren und Ungulaten. *Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte* 126, 205-263.

Nickel R., Schummer A., Wille K. H., Wilkens H. (1992): Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem. In: Nickel R., Schummer A., Seiferle E.: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. Band 1, Parey, Berlin, 12-229.

Nixon A. J., Stashak T. S., Ingram J. T. (1982): Diagnostic cervical malformations in the horse. *Proc. Ann. Conv. Am. Ass. Equine Pract. (AAEP)* 28, 253-266.

Olsson S.-E. (1978): Pathogenesis and pathology in pigs, horses, bulls, turkeys, and broilers, with comparative aspects on osteochondritis dissecans in man. In: S.-E. Olsson (ed): *Osteochondrosis in domestic animals. Acta radiologica, Supplementum*, 358, Stockholm.

Palfrey A. J. (1973): The structure of the bone cartilage junction. In: Kenedi R. M. (ed), Perspectives in medical engineering. McMillan Press Ltd., London Basingtoke, 139-145.

Pauwels F. (1965): Gesammelte Abhandlungen zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates. Springer, Berlin/Heidelberg/New York.

Pick M. (1986): Handbuch der Pferdekrankheiten. 5. Auflage, Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Preuschoft H., Lesch C., Witte H., Lotsch C. (1994): Die biomechanischen Grundprinzipien der Gangarten, insbesondere des Galopps. In: Knesevic P. F.: Orthopädie bei Huf- und Klautieren. Schattauer Verlag, Stuttgart.

Radin E. L., Parker H. G., Steinberg R. S., Paul I. L., Rose R. M. (1973): Response of joints to impact loading, 3. Relationship between trabecular microfractures and cartilage degeneration. J. Biomech. 6, 51-57.

Reininghaus M. (2003): Zur Osteochondrose im Fesselgelenk bei Warmblutstuten und deren Fohlen – Eine röntgenologische Studie. Dissertation an der Freien Universität Berlin.

Rick M. C., O'Brien T. R., Pool R. R., Meagher D. (1983): Condylar fractures of the third metacarpal bone and third metatarsal bone in 75 horses, radiographic features, treatments and outcome. J. Am. Vet. Med. Assoc. 183, 287-296.

Rooney J. R. (1975): Osteochondrosis in the horse, I.+II. Mod. Vet. Pract. 54, 41-43, 113-116.

Sachs L. (1982): Statistische Methoden. 5. Aufl., Springer, Berlin/Heidelberg/New York.

Schäfer J. C. (2001): Biomechanische Untersuchungen am Fesselgelenk (Articulatio metacarpophalangea) des Pferdes. Dissertation an der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität, München.

Schaller O. (1992): Illustrated veterinary anatomical nomenclature. Enke, Stuttgart.

Schober M. (2003): Schätzung von genetischen Effekten beim Auftreten: von Osteochondrosis dissecans beim Warmblutpferd. 1. Aufl., Cuvillier, Univ., Diss., Göttingen.

Schütte A. C. (2005): Untersuchungen zum Equinen Wobbler Syndrome. Dissertation an der Ludwig-Maximilians-Universität, München.

Stewart R. H., Reed S. M., Weisbrode S. (1991): Frequency and severity of osteochondrosis in horses with cervical stenotic myelopathy. *Am. J. Vet. Res.*, 52(6), 873-79.

Strømberg B. (1979): A review of the salient features of osteochondrosis in the horse. *Equine Vet. J.* 4, 211 – 214.

Thenius E. (1969): Stammesgeschichte der Säugetiere (einschließlich der Hominiden). Springer, Berlin/Göttingen/Heidelberg.

Tobien H. (1952): Über die Funktion der Seitenzehen tridactyler Equiden. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 96, 137-172.

Tomatsu T., Imai N., Takeuchi N., Takahashi K., Kimura N. (1992): Experimentally produced fractures of articular cartilage and bone, the effects of shear forces on the pig knee. *J. Bone Joint Surg.* 74, 457-462.

Uppenborn W. (1990): Ansprechen (Identifizieren) und Beurteilen. In: Deutsche Reiterliche Vereinigung e.V. (Hrsg.): Richtlinien für Reiten und Fahren. Band 4, Pferdehaltung, Warendorf, 212-232.

Verband hannoverscher Warmblutzüchter e.V. (2005): Satzung, Stand: 6. Juni 2005.

Vilà C., Leonard J. A., Götherström A., Marklund S., Sandberg K., Lidén K., Wayne R. K., Ellegren H. (2001): Widespread Origins of Domestic Horse Lineages. *Science* 291, 474-477.

Weiss C. (1978): Light and electron microscopic studies of normal articular cartilage. In: Simon W. H. (ed): *The human joint in health and disease*. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 9-20.

Wilke A. (2003): Der Einfluss von Aufzucht und Haltung auf das Auftreten von Osteochondrose (OC) beim Reitpferd. Dissertation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover.

Willms F., Röhrke R., Kalm E. (1999a): Züchterische Bedeutung von Gliedmaßenveränderungen (1. Mitteilung). Züchtungskunde 71, 330-345.

Willms F., Röhrke R., Kalm E. (1999b): Genetische Beziehungen zwischen Merkmalen aus der Stutbucheintragung, Stutenleistungsprüfungen und Gliedmaßenveränderungen (2. Mitteilung). Züchtungskunde 71, 346-358.

Winter D. (1995): Genetische Disposition von Gliedmaßenerkrankungen bei Reitpferden. Dissertation, Göttingen.

Wintzer H. J. (1997): Krankheiten des Pferdes. 2. Aufl., Parey, Berlin.

Wissdorf H., Otto B., Hertsch B., Stadtbäumer G. (1998): Fesselgelenkbereich, Fesselkopf. In: Wissdorf H., Gerhards H., Huskamp B.: Praxisorientierte Anatomie des Pferdes. M.&H. Schaper, Alfeld-Hannover, 308-326, 346.

Witte H., Lesch C., Preuschoft H., Loitsch C. (1995a): Die Gangarten der Pferde: Sind Schwingungsmechanismen entscheidend? Teil I: Pendelschwingungen der Beine bestimmen den Schritt. Pferdeheilkunde 11/3, 199-206.

Witte H., Lesch C., Preuschoft H., Loitsch C. (1995b): Die Gangarten der Pferde: Sind Schwingungsmechanismen entscheidend? Teil II: Federschwingungen bestimmen den Trab und den Galopp. Pferdeheilkunde 11/4, 265-272.

Zeller R. (1966): Der Spat des Pferdes, eine klinisch röntgenologische Studie. Habilitationsschrift, Freie Universität Berlin.

16. Danksagung

Herrn Prof. Dr. Eberhard May danke ich für die über fünf Jahre währende Unterstützung bei dieser Arbeit, angefangen bei der Entwicklung der Idee und der Organisation der Präparation bis hin zu der endgültigen Niederschrift. Eine derartige Förderung von Ideen außerhalb des gewohnten Rahmens ist keineswegs selbstverständlich.

Außerdem danke ich Herrn Prof. Miguel Vences für die Übernahme des Gutachtens und ebenfalls für die Betreuung beim Verfassen der Arbeit. Die Inhalte der Dissertation bekamen dadurch eine Form, in der möglichst viele Menschen aus unterschiedlichen Fachbereichen Zugang dazu finden können.

Herrn Prof. Dr. Martin Korte danke ich ebenfalls für die Übernahme des Gutachtens.

All meinen Freunden und meiner Familie danke ich dafür, dass sie es akzeptieren konnten, dass ich zeitweise völlig von der „gesellschaftlichen Bühne“ abgetreten bin und mich isolieren musste, um die Arbeit fertig zu stellen. Danke, dass mein Wiedererscheinen willkommen ist!